Journal of Geography and Regional Development Vol 21, No. 4 (2023-2024) – Serial Number 45

https://doi.org/10.22067/ jgrd.2023.80364.1227

Spatial Modeling and Site Selection of Hospital by Integrating the New Multi-Criteria Decision-Making Methods, BWM, and WASPAS (Case study: District 2 of Tehran)

Iman Zandi
MA, Department of GIS, School of Surveying and Geospatial Information, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Parham Pahlavani[1]
Associate Professor in GIS, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Behnaz Bigdeli
Associate Professor of Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Received: 2 January 2023 *Revised: 20 February 2023* *Accepted: 25 March 2023*

Abstract
Making a balance between the demand for healthcare services and the response to it requires the operation of new hospitals. But the important problem is finding the optimal for the construction of a hospital. The present research used a mixed method for determining the optimal location for a hospital in District 2 of Tehran. The mixed method is based on the Geospatial Information System (GIS), Best-Worst Method (BWM), and Multi-Criteria Decision-Making Methods, WASPAS, and TOPSIS. Fewer pairwise comparisons in the weighting process of the proposed method have increased the accuracy and reliability of decision-making results. The combination of spatial modeling and ranking has also reduced the search space for suitable places to build a hospital. For this purpose, after determining the appropriate criteria, the weighting process was carried out with BWM, and the spatial layer of each criterion was prepared using GIS. Based on the weighting results, the criteria of distance from existing hospitals and distance from healthcare centers have had the highest and lowest weight, respectively. In the next step, the land suitability map was prepared by combining the spatial layers. Almost 88% of the spatial modeling results corresponded with the realities of the region, and the western half, especially the

1. Corresponding author. Email: pahlavani@ut.ac.ir

southwestern part, for the construction of a new hospital, had a higher proportion than other parts. Finally, sites number 2, 5, and 8 among 11 candidate sites were determined as the most optimal places for the construction of a new hospital in the studied area. It is suggested that one or more hospitals should be built in the designated optimal sites in accordance with the population living in areas without optimal access to hospital facilities so that in addition to improving health spatial equity, the cost of citizens' access to hospitals could be reduced.

Keywords: Spatial Modeling, Hospital Location Selection, Best-Worst Method, WASPAS, TOPSIS, GIS

https://doi.org/10.22067/ jgrd.2023.80364.1227

مقاله پژوهشی-مطالعه موردی

مجلّهٔ جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، سال بیست و یکم، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۲، شمارهٔ پیاپی ۴۵

مدل‌سازی مکانی و مکان‌یابی بیمارستان با تلفیق روش‌های نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره مدل بهترین-بدترین و واسپاس (مطالعهٔ موردی: منطقه ۲ تهران)

ایمان زندی (کارشناسی ارشد گروه مهندسی سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی،دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران)

imanzandi.dgh@ut.ac.ir

پرهام پهلوانی (دانشیار گروه مهندسی سیستم های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، نویسنده مسئول)

pahlavani@ut.ac.ir

بهناز بیگدلی (دانشیار گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران)

bigdeli@shahroodut.ac.ir

صص ۱۶۱ ـ ۱۲۵

چکیده

ایجاد تعادل میان تقاضا و ارائه خدمات بهداشتی و درمانی نیازمند بهره‌برداری از بیمارستان‌های جدید است، اما مسئله مهم این است که کدام مکان برای احداث بیمارستان بهینه است. تحقیق حاضر به‌منظور تعیین مکان بهینه احداث بیمارستان در منطقه ۲ کلان‌شهر تهران از روش ترکیبی استفاده کرده است. روش ترکیبی استفاده‌شده مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی، مدل وزن‌دهی بهترین-بدترین و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره واسپاس و تاپسیس است. مقایسات زوجی کمتر در فرایند وزن‌دهی روش پیشنهادی موجب افزایش دقت و قابلیت اطمینان نتایج تصمیم‌گیری شده است. انجام توأم مدل‌سازی مکانی و رتبه-بندی نیز موجب کاهش فضای جست‌وجوی مکان‌های مناسب احداث بیمارستان شده است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۰۱ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۰۱/۰۵

این ابتکار علاوه‌بر افزایش دقت، موجب افزایش سرعت و سهولت تصمیم‌گیری می‌شود؛ بر این اساس، پس از تعیین معیارهای مناسب در تصمیم‌گیری، فرایند وزن‌دهی با مدل جدید بهترین-بدترین انجام شد و لایه مکانی هر معیار با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی تهیه شد. براساس نتایج روش وزن‌دهی، معیارهای فاصله از بیمارستان‌های موجود و فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی، به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن را به خود اختصاص دادند. در گام بعد، نقشه تناسب اراضی با تلفیق لایه‌های مکانی تهیه شد. تقریباً ۸۸ درصد نتایج مدل‌سازی مکانی با واقعیت‌های منطقه مطابقت داشت و نیمه غربی به‌ویژه قسمت جنوب غربی برای احداث بیمارستان جدید، از تناسب بیشتری در مقایسه با سایر قسمت‌ها برخوردار بود. درنهایت سایت‌های شماره ۲، ۵ و ۸ از میان ۱۱ سایت کاندید، به‌عنوان بهینه‌ترین مکان برای احداث بیمارستان جدید در منطقه ۲ کلان‌شهر تهران تعیین شد. پیشنهاد می‌شود که متناسب با جمعت ساکن در قسمت‌های فاقد دسترسی مطلوب به امکانات بیمارستانی در منطقه ۲، یک یا چند بیمارستان در سایت‌های بهینه تعیین‌شده احداث شود تا علاوه بر بهبود دسترسی شهروندان به خدمات بهداشتی و درمانی، هزینه‌های دسترسی ساکنان منطقه به خدمات بهداشتی و درمانی کاهش یابد.

واژگان کلیدی: مدل‌سازی مکانی، مکان‌یابی بیمارستان، مدل بهترین-بدترین، واسپاس، تاپسیس، سیستم اطلاعات مکانی.

۱. مقدمه

گسترش شهرها و افزایش جمعیت آن‌ها موجب افزایش تقاضا به‌منظور بهره بردن از خدمات بهداشتی و درمانی شده است. شیوع بیماری‌های واگیر همچون بیماری کرونا[1]، سوانح رانندگی، مخاطرات طبیعی همچون سیل و زلزله و بسیاری دیگر موجب افزایش چشمگیر مراجعات به مراکز بهداشتی و درمانی به‌ویژه بیمارستان‌ها شده است؛ این در حالی است که یکی از عوامل مهم افزایش جمعیت شهرها، دسترسی آسان به خدمات است (مرادیان و همکاران، ۲۰۱۷، ص. ۲) و یکی از مهم‌ترین این خدمات، خدمات درمانی است؛ بنابراین نیاز است برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران شهری به موضوع بهداشت و درمان که از شاخص‌های بسیار مهم توسعه پایدار

1. Coronavirus (COVID-19)

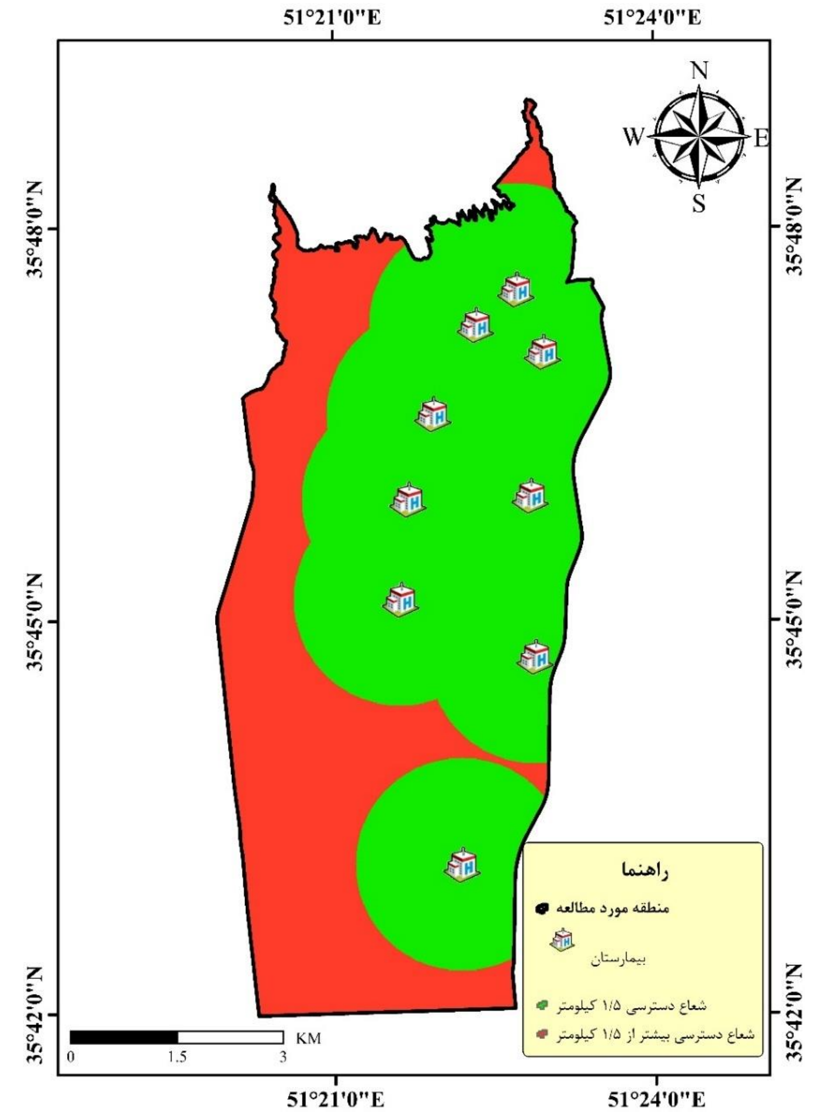
است، توجه محسوس داشته باشند (المنشی[1] و همکاران، ۲۰۲۰، ص. ۱۱). دسترسی نامطلوب شهروندان به بیمارستان‌ها و رعایت نشدن عدالت فضایی در توزیع خدمات بهداشتی و درمانی یکی از معضلات کلان‌شهرها است؛ حال‌آنکه همه مردم باید به‌صورت عادلانه از خدمات بهداشتی بهره‌مند شوند؛ بنابراین مکان احداث بیمارستان بسیار مهم است و تأثیر بسیاری بر عملکرد آن دارد (چترجی و مخرجی[2]، ۲۰۱۳، ص. ۳۰۵). مکان‌یابی بیمارستان را می‌توان به‌عنوان یک مسئله تصمیم‌گیری با چندین معیار بررسی کرد (دل اوو[3] و همکاران، ۲۰۱۸، ص. ۶۳۵؛ لین و تسای[4]، ۲۰۱۰، ص. ۳۷۶). یکی از ابزارهای تصمیم‌گیری، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره[5] است که قابلیت استفاده در مسائل پیچیده‌ای را دارد که شامل معیارها و گزینه‌های متعدد هستند (هاشم‌خانی زلفانی و همکاران، ۲۰۲۰، ص. ۲). در این مسائل معمولاً معیارهای متفاوتی وجود دارد که ممکن است در ارتباط یا در تضاد با هم باشند (دل اوو و همکارن، ۲۰۱۸، ص. ۶۳۶).

تحقیقات مختلف از روش‌های مختلف به‌منظور حل مسئله تعیین مکان بهینه بیمارستان استفاده کرده‌اند. مسئله تعیین مکان بهینه بیمارستان می‌تواند به‌صورت مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره (ادعلی و تاس[6]، ۲۰۱۹؛ وو[7] و همکاران، ۲۰۰۶)، بهینه‌سازی (کاوه و مسگری، ۱۳۹۸؛ کاوه و همکاران، ۲۰۲۰)، مسئله طبقه‌بندی[8] یا پیش‌بینی[9] (المنشی و همکاران، ۲۰۲۱) و تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی[10] یا تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی[11] (بایاسی و سیسمان[12]، ۲۰۲۱) بررسی شود. تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌منظور مکان‌یابی بسیاری از خدمات عمومی، استفاده شده است. مکان‌یابی خدمات عمومی معمولاً نیازمند ترکیب روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره است (یاپ[13] و همکاران، ۲۰۱۹، ص. ۵۵۰). از طرفی محاسبه مقادیر

1. Almansi
2. Chatterjee & Mukherjee
3. Dell’Ovo
4. Lin & Tsai
5. Multi Criteria Decision making
6. Adalı & Tuş
7. Wu
8. Classification
9. Regression
10. Spatial MCDM
11. GIS-based MCDM
12. Boyacı & Şişman
13. Yap

معیارها برای سایت‌های کاندید، تحلیل‌های فضایی و مکان‌یابی پیوسته، ضرورت استفاده از سیستم اطلاعات مکانی را نشان می‌دهد؛ به همین دلیل، در اکثر کاربردهای مکان‌یابی، فرایند تصمیم‌گیری چندمعیاره در ترکیب با سیستم اطلاعات مکانی استفاده شده است؛ به‌عبارتی، تحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی موجب افزایش دقت و سهولت مکان‌یابی می‌شود (رضایی، ۲۰۲۰، ص. ۴۹).

منطقه ۲ شهر تهران با جمعیتی بالغ بر ۷۳۰۰۰۰ نفر بیش از ۸/۲ درصد از جمعیت تهران را تشکیل می‌دهد. تعداد ۹ بیمارستان از ۱۴۲ بیمارستان تهران در این منطقه واقع شده است (۶/۳۴ درصد) (مصدق‌راد و همکاران، ۱۴۰۰، ص. ۱۵۸). همچنین از مجموع ۲۴۵۳۵ تخت بیمارستانی در تهران، ۲۹۳۸ تخت در منطقه ۲ قرار دارد (۱۱/۹۷) (مصدق‌راد و همکاران، ۱۴۰۰، ص. ۱۵۸)؛ این در حالی است که براساس استانداردهای بهداشتی و درمانی اکثر کشورهای جهان، به ازای هر ۵۰۰۰۰ نفر شهروند ساکن در یک منطقه، یک بیمارستان احداث شده است (درگاهی، ۱۳۹۰). همچنین در کشورهای توسعه‌یافته به ازای هر ۱۰۰۰ نفر شهروند ساکن در یک منطقه، ۹ تا ۱۴ تخت بیمارستانی وجود دارد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸، ص. ۲۵)؛ بنابراین با توجه به جمعیت این منطقه، کمبود تخت بیمارستانی و تعداد بیمارستان در منطقه ۲ وجود دارد. شعاع دسترسی استاندارد یک بیمارستان بین ۱ تا ۱/۵ کیلومتر است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸، ص. ۲۷)، اما همان‌گونه که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، قسمت زیادی از منطقه ۲ دسترسی مطلوب (شعاع دسترسی ۱/۵ کیلومتری) به بیمارستان‌ها ندارد؛ بنابراین با توجه به نبود تناسب میان جمعیت منطقه ۲ و امکانات بیمارستانی موجود، احداث بیمارستان (های) جدید در این منطقه امری ضروری است و این بیمارستان(ها) باید در مکانی بهینه احداث شود.



شکل ۱. شعاع دسترسی بیمارستان‌های منطقه موردمطالعه

مأخذ: نویسندگان، ۱۴۰۲

با توجه به مطالب بیان‌شده، هدف تحقیق حاضر تعیین مکان بهینه برای احداث یک بیمارستان عمومی در منطقه ۲ شهر تهران با استفاده از یک روش ترکیبی مبتنی بر تصمیم‌گیری چندمعیاره و سیستم اطلاعات مکانی است. تحقیق حاضر به‌منظور افزایش دقت در فرایند تصمیم‌گیری به ارائه یک روش ترکیبی به‌منظور انجام توأم فرایند مدل‌سازی مکانی و رتبه‌بندی سایت‌های کاندید

بیمارستان می‌پردازد. در روش ارائه‌شده سعی شده است با انجام توأم فرایند مدل‌سازی مکانی تناسب اراضی و رتبه‌بندی سایت‌های کاندید و کاهش تعداد مقایسات زوجی، دقت و سرعت تصمیم‌گیری تعیین مکان بهینه بیمارستان بهبود یابد. تحقیق حاضر یک روش ترکیبی شامل سیستم اطلاعات مکانی، مدل نوین بهترین–بدترین و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره جدید واسپاس را ارائه می‌دهد. نوآوری تحقیق حاضر، افزایش دقت و قابلیت اطمینان مکان‌یابی بیمارستان با انجام توأم فرایند مدل‌سازی مکانی و رتبه‌بندی سایت‌های کاندید، براساس تلفیق روش‌های نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره است. علاوه بر آن، تحقیق حاضر معیار توزیع مکانی ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون را نیز در کنار سایر معیارهای متداول مکان‌یابی بیمارستان در نظر گرفته است. نتایج تحقیقات بسیاری نظیر (لئو[1] و همکاران، ۲۰۲۱؛ کوکس جر[2]، ۲۰۱۷) شواهدی مبنی بر تأثیر این ذرات بر بروز و تشدید بیماری‌های مختلف ارائه می‌دهد.

۲. پیشینه تحقیق

در ادامه درباره برخی از تحقیقات پیشین در زمینه تعیین مکان بیمارستان به اختصار توضیح داده شده است. سلطانی و همکاران (۲۰۱۹) با تلفیق فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و سیستم اطلاعات مکانی به مکان‌یابی بیمارستان در شهر اصفهان پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که بیمارستان‌های موجود تنها ۲۴ درصد از مناطق شهری را پوشش می‌دهند. ادعلی و تاس (۲۰۱۹) با مقایسه عملکرد سه الگوریتم تصمیم‌گیری تاپسیس[3]، ایداس[4] و کوداس[5] در ترکیب با روش وزن‌دهی عینی کریتیک[6]، به مکان‌یابی بیمارستان در ترکیه پرداختند. نتایج این تحقیق حاکی از یکسان‌بودن نتایج رتبه‌بندی سایت‌های کاندید بیمارستان به‌وسیله هر سه روش بود. ساهین[7] و همکاران (۲۰۱۹) با در نظر گرفتن ۱۹ معیار، از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به‌منظور مکان‌یابی بیمارستان در ترکیه استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که تقاضا برای بهره‌مندی

1. Liu
2. Cox Jr
3. TOPSIS
4. EDAS
5. CODAS
6. CRITIC
7. Sahin

از خدمات بهداشتی و درمانی مهم‌ترین معیار در مکان‌یابی بیمارستان است. رضائی (۲۰۲۰) با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و تحلیل‌های چندمعیاره به مکان‌یابی بیمارستان در مالزی پرداخت. در این تحقیق ابتدا سایت‌های مستعد احداث بیمارستان تعیین شد و سپس با در نظر گرفتن استانداردهای احداث بیمارستان و معیارهای مدنظر سایت‌های کاملاً مطلوب تعیین شد. المثنی و همکاران (۲۰۲۱) با ترکیب سیستم اطلاعات مکانی و سه روش یادگیری ماشین شامل ماشین بردار پشتیبان[1]، پرسپترون چند لایه[2] و مدل رگرسیون خطی[3]، به تهیه نقشه تناسب اراضی جهت احداث بیمارستان پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که نقشه به‌دست‌آمده از روش پرسپترون چند لایه از دقت بیشتری در مقایسه با دو روش دیگر برخوردار است. بایاسی و سیسمان (۲۰۲۱) از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی فیثاغورثی[4] به‌منظور تعیین وزن و از سیستم اطلاعات مکانی به‌منظور تهیه لایه معیارهای مکان‌یابی استفاده کرده و نقشه تناسب اراضی برای احداث بیمارستان را با همپوشانی لایه‌های مکانی تهیه کردند. در نهایت به‌وسیله روش تاپسیس به رتبه‌بندی ۱۳ سایت کاندید پرداختند. تحلیل حساسیت وزن‌ها در این تحقیق بیانگر تأثیر بسیار زیاد وزن معیارها بر رتبه‌بندی سایت‌های کاندید بود. زندی و همکاران (۱۳۹۹) برای تعیین مکان بهینه احداث بیمارستان در تهران، از سیستم اطلاعات مکانی به‌منظور تهیه اطلاعات و از روش وزن‌دهی عینی کریتیک برای وزن‌دهی معیارهای تصمیم‌گیری استفاده کردند. درنهایت، سایت‌های کاندید با استفاده از دو روش کوداس و ویکور[5] رتبه‌بندی شدند. در این تحقیق رتبه‌بندی انجام‌شده توسط روش کوداس در مقایسه با روش ویکور به نتایج صحیح‌تری انجامید. نتایج تحقیق نشان داد که تعیین وزن معیارهای مکان‌یابی بیمارستان با استفاده از روش وزن‌دهی عینی کریتیک به نتایج صحیح و منطبق بر واقعیات منطقه منجر شده است. زندی و دلاور (۲۰۲۱) با هدف مدل‌سازی عدم قطعیت تعیین مکان بهینه بیمارستان در تهران، از روش وزندهی عینی آنتروپی شانون استفاده کردند. آن‌ها اطلاعات مکانی سایت‌های کاندید را با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی تهیه کرده و با استفاده از روش تاپسیس آن‌ها را رتبه‌بندی کردند. نتایج تحقیق

1. Support Vector Machine
2. Multi-Layer Perceptron
3. Linear Regression Model
4. Pythagorean fuzzy AHP
5. VIKOR

بیانگر صحت رتبه‌بندی انجام‌شده و تخصیص وزن معیارها بود. زندی و همکاران (۱۴۰۱) به‌منظور مکان‌یابی بیمارستان در تهران، به مقایسه عملکرد دو روش وزن‌دهی عینی کریتیک و آنتروپی شانون پرداختند. آن‌ها با ترکیب روش‌های وزن‌دهی عینی با روش کوداس به این نتیجه رسیدند که عملکرد دو روش وزندهی مشابه با هم است.

در ادامه به معایب تحقیقات پیشین و مزایای روش ارائه‌شده در تحقیق حاضر پرداخته می‌شود. در اغلب تحقیقات پیشین صرفاً یکی از دو فرایند مدل‌سازی مکانی یا رتبه‌بندی سایت‌های کاندید انجام شده است و تحقیقات کمی به انجام توأم این دو فرایند پرداخته‌اند؛ حال‌آنکه این دو فرایند مکمل هم هستند و انجام توأم آن‌ها به تکمیل فرایند تصمیم‌گیری و افزایش دقت و قابلیت اطمینان نتایج منجر می‌شود. در رویکرد ترکیبی ابتدا پهنه‌های مناسب برای احداث بیمارستان تعیین می‌شود و سپس سایت‌های کاندید در این پهنه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند. همچنین رویکرد ترکیبی باعث کاهش حجم محاسبات اضافه برای ارزیابی سایت‌های کاندید واقع درپهنه‌های نامناسب می‌شود. تحقیقات پیشین به‌منظور تعیین وزن معیارهای مکان‌یابی بیمارستان عمدتاً از روش وزن‌دهی تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده کرده‌اند و از روش‌های وزن‌دهی نوین غفلت شده است. یکی از معایب روش تحلیل سلسله‌مراتبی، تعدد ماتریس مقایسات زوجی بوده که با افزایش معیارهای تصمیم‌گیری یا سایت‌های کاندید، به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد (رضایی، ۲۰۱۵، ص. ۵۳)؛ به‌عبارتی پیچیدگی اجرایی افزایش می‌یابد. افزایش ماتریس‌های مقایسات می‌تواند به افزایش ناسازگاری و درنتیجه پیچیدگی تصمیم‌گیری و کاهش قابلیت اطمینان نتایج منجر شود (رضایی، ۲۰۱۵، ص. ۵۱). در صورت بروز ناسازگاری در روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، مقایسات باید مجدد بازبینی یا تکرار قرار شوند. با توجه به حجم زیاد مقایسات زوجی در این روش، تکرار و بازبینی مقایسات زوجی، زمان و هزینه بسیاری را بر فرایند تصمیم‌گیری تحمیل می‌کند؛ بنابراین استفاده از روش‌های وزن‌دهی با تعداد مقایسات زوجی کمتر می‌تواند قابلیت اطمینان نتایج را افزایش داده و پیچیدگی تصمیم‌گیری را کاهش دهد؛ چراکه احتمال بروز ناسازگاری در تعداد کمتری از مقایسات زوجی، به‌مراتب کمتر است. در تحقیقات قبلی به‌منظور رتبه‌بندی سایت‌های کاندید بیمارستان عمدتاً از روش فرایند تحلیل

سلسله‌مراتبی، مدل تاپسیس و مدل ویکور استفاده شده است و روش‌های نوین کمتر مدنظر قرار گرفته‌اند.

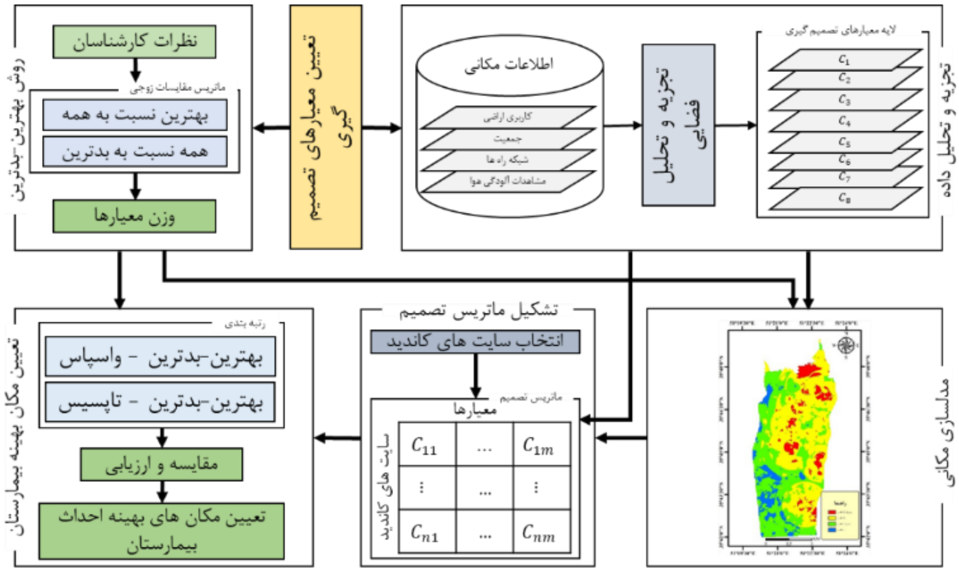
هدف ارائه روش‌های نوین برای کاربردهای مختلف معمولاً بهبود عملکرد و دقت (قابلیت اطمینان)، افزایش سهولت و کاهش زمان است؛ بنابراین بدیهی است رسیدن به اهداف ارائه‌شده تنها با ارائه رویکردهای نوین یا بهبود رویکردهای پیشین ممکن می‌شود. مسائلی همانند مکان‌یابی بیمارستان یک راه‌حل واحد ندارند و به همین دلیل رویکردهای مختلف به‌منظور حل آن‌ها ارائه شده است. همچنین براساس تئوری «ناهار مجانی وجود ندارد»[1]، هیچ روشی برای تمام مسائل مناسب نیست (آدام[2] و همکاران، ۲۰۱۹، ص. ۵۸). با توجه به اینکه در تصمیم-گیری‌های مکانی، اطلاعات مکانی در مناطق مختلف با هم متفاوت هستند، می‌توان گفت که لزوماً یک روش واحد برای مکان‌یابی بیمارستان در تمام مناطق یک شهر و یا شهرهای مختلف، مناسب نیست؛ بنابراین ارائه روش‌های نوین با قابلیت اطمینان بیشتر لازمه حل مسائل مختلف در مناطق متفاوت است. تحقیق حاضر به‌منظور افزایش دقت و قابلیت اطمینان نتایج و کاهش محاسبات اضافه، رویکرد ترکیبی ارائه می‌دهد. در این رویکرد از روش وزن‌دهی بهترین-بدترین استفاده شده است که در مقایسه با روش‌های رایج وزن‌دهی در تحقیقات پیشین از قابلیت اطمینان بیشتر و مقایسات کمتری برخوردار است. همچنین به‌منظور رتبه‌بندی سایت‌های کاندید از روش واسپاس[3] در مقایسه با روش متداول تحقیقات پیشین (تاپسیس) استفاده شده است.

۳. روش‌شناسی تحقیق

تحقیق حاضر با هدف مدل‌سازی مکانی تناسب اراضی و تعیین مکان بهینه احداث بیمارستان جدید در منطقه ۲ کلان‌شهر تهران انجام شد. همچنین برای افزایش دقت و کیفیت تصمیم‌گیری، به ارائه یک روش ترکیبی مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی، مدل وزن‌دهی بهترین-بدترین و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره واسپاس و تاپسیس پرداخته است. سیستم اطلاعات مکانی در تحقیق حاضر برای آماده‌سازی و مدیریت اطلاعات مکانی، مدل‌سازی مکانی و نمایش نتایج

1. No Free Lunch Theorems
2. Adam
3. Weighted Aggregated Sum Product Assessment

و نقشه‌ها استفاده شده است. به‌منظور انجام فرایند وزن‌دهی معیارهای تصمیم‌گیری، مدل بهترین–بدترین به کار رفته است. قابلیت اطمینان وزن‌های به‌دست‌آمده از مدل بهترین–بدترین در مقایسه با روش وزن‌دهی رایج فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، به دلیل مقایسات زوجی کمتر و سازگارتر به مراتب بیشتر است (رضایی، ۲۰۱۵، ص. ۵۴). همچنین به‌منظور رتبه‌بندی سایت‌های کاندید از دو روش تصمیم‌گیری واسپاس و تاپسیس استفاده شده است. روش واسپاس یکی از روش‌های نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره است که به دلیل ترکیب معیارهای ارزیابی دو روش حاصل‌ضرب وزن‌دار و مجموع وزن‌دار ساده از دقت بیشتری در مقایسه با آن‌ها برخوردار بوده و در مسائل مکان‌یابی بهینه بیمارستان استفاده نشده است. برای ارزیابی روش واسپاس، نتایج این روش با نتایج روش پرکاربرد تاپسیس مقایسه شده است. شکل (۲) ساختار کلی روش تحقیق ارائه‌شده در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، ابتدا براساس تحقیقات پیشین و نظرهای کارشناسان، معیارهای مناسب برای انجام فرایند مدل‌سازی مکانی تناسب اراضی و تعیین مکان بهینه احداث بیمارستان تعیین می‌شود. در گام بعد با در نظر گرفتن مقایسات زوجی انجام‌شده توسط کارشناسان، وزن معیارها با استفاده از مدل بهترین–بدترین محاسبه می‌شود. همچنین برای تهیه لایه‌های مکانی معیارها، اطلاعات مکانی موردنیاز تهیه شده و با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و تجزیه و تحلیل‌های فضایی، لایه‌های مکانی معیارها تهیه می‌شود. در گام بعد، لایه‌های مکانی معیارها با توجه به وزن به‌دست‌آمده از مدل بهترین–بدترین، با هم تلفیق شده و نقشه تناسب اراضی جهت احداث بیمارستان جدید تهیه می‌شود. در ادامه، پس از آنکه سایت‌های کاندید در مناطقی که از تناسب بیشتری برخوردارند انتخاب شدند، مقادیر معیارها از لایه‌های مکانی برای آن‌ها استخراج شده و ماتریس تصمیم تشکیل می‌شود. پس از آن با استفاده از ماتریس تصمیم تشکیل‌شده و وزن‌های به‌دست‌آمده از مدل بهترین–بدترین، سایت‌های کاندید با استفاده از دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره واسپاس و تاپسیس رتبه‌بندی شده و نتایج بررسی و ارزیابی می‌شود. درنهایت، سایت‌های بهینه برای احداث بیمارستان جدید تعیین می‌شود.

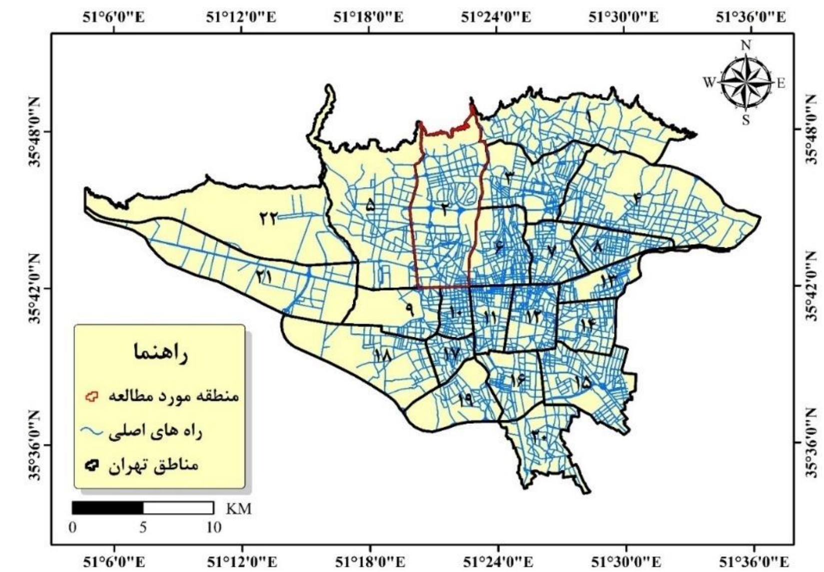


شکل ۲. ساختار کلی تحقیق

مأخذ: نویسندگان، ۱۴۰۲

۳. ۱. منطقه موردمطالعه

منطقه ۲ کلان‌شهر تهران با مساحتی حدود ۴۷/۶ کیلومتر مربع، از ۲۱ محله و ۹ ناحیه تشکیل شده و در قسمت شمالی تهران واقع شده است (شکل ۳). جمعیت این منطقه در سال ۱۳۹۷، ۷۲۱٬۹۶۴ نفر بوده که پس از مناطق ۴ و ۵، پرجمعیت‌ترین منطقه شهر تهران بوده است (سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران، ۱۳۹۸. ص. ۴۵). جمعیت سالمند ۶۵ سال به بالای این منطقه در سال ۱۳۹۷، ۹۰٬۴۹۶ نفر بوده است (سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران، ۱۳۹۸. ص. ۴۵)؛ به‌عبارتی سالمندان حدود ۱۳ درصد از جمعیت این منطقه را تشکیل داده‌اند. این منطقه دارای ۹ بیمارستان است که تمامی آن‌ها در نواحی شمالی و شرقی منطقه واقع شده‌اند و نواحی غربی و جنوبی آن فاقد امکانات بیمارستانی هستند.



شکل ۳. منطقه موردمطالعه

مأخذ: نویسندگان، ۱۴۰۲

۳. ۲. معیارهای استفاده‌شده در تحقیق

فرایند مدل‌سازی مکانی تناسب اراضی و تعیین مکان بهینه بیمارستان یک مسئله دشوار تصمیم‌گیری است که از دلایل این دشواری می‌توان تعداد زیاد معیارها را ذکر کرد. تحقیقات پیشین معیارهای متنوعی را به‌منظور تعیین مکان بهینه بیمارستان استفاده کرده‌اند. یکی از اصول اساسی که در این مسئله باید در نظر گرفته شود، مباحث مربوط به سازگاری کاربری‌های اراضی است. کاربری‌های همجوار باید تا حد ممکن با هم سازگار باشند تا کارایی و عملکرد یکدیگر را تضعیف نکنند. همجواری کاربری بیمارستان با کاربرهایی همانند فضاهای سبز، راه‌ها، مراکز بهداشتی و درمانی و ایستگاه‌های آتش‌نشانی کاملاً سازگار و با کاربری‌هایی همانند مراکز آموزشی (مدارس و دبستان) ناسازگار و نسبتاً ناسازگار است (طالعی و همکاران، ۲۰۰۷، ص. ۳۷۹). معیارهای استفاده‌شده در تحقیق حاضر در جدول (۱) آورده شده است. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، در این تحقیق، هشت معیار به‌منظور تعیین مکان بهینه بیمارستان براساس تحقیقات پیشین و نظرهای کارشناسان (۱۵ کارشناس با تخصص‌های سیستم اطلاعات مکانی، آمایش سرزمین و برنامه‌ریزی شهری) انتخاب شده است. در تحقیق حاضر براساس نتایج

تحقیقات متعدد مبنی بر ارتباط قرار گرفتن درمعرض ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) آلودگی هوا با بیماری‌های مختلف همچون بیماری‌های قلبی‌عروقی، سرطان و تنفسی (بای[1] و همکاران، ۲۰۱۹؛ صادقی و همکاران، ۲۰۱۵؛ لیو[2] و همکاران، ۲۰۲۱؛ آتروندی[3] و همکاران، ۲۰۲۱) توزیع مکانی این ذرات به‌عنوان یکی از معیارهای تصمیم‌گیری انتخاب شده است.

جدول ۱. معیارهای تصمیم‌گیری

مأخذ: نویسندگان، ۱۴۰۲

معیار		منبع	تابع هدف
C1	فاصله از فضاهای سبز	(بایاسی و سیسمان، ۲۰۲۱؛ کاوه و همکارن، ۲۰۲۰؛ زندی و پهلوانی، ۱۴۰۰؛ کاوه و مسگری، ۱۳۹۸)	هر چه فاصله یک مکان از فضاهای سبز کمتر باشد، مطلوبیت بیشتر است.
C2	فاصله از مراکز آموزشی	(کومار[4] و همکاران، ۲۰۱۶؛ شارمین و نیما[5]، ۲۰۱۳؛ زندی و پهلوانی، ۱۴۰۰؛ کاوه و مسگری، ۱۳۹۸)	هر چه فاصله یک مکان از مراکز آموزشی بیشتر باشد، مطلوبیت بیشتر است.
C3	فاصله از راه‌های اصلی	(زندی و پهلوانی، ۱۴۰۰؛ کاوه و مسگری، ۱۳۹۸؛ کاوه و همکاران، ۲۰۲۰؛ بایاسی و سیسمان، ۲۰۲۱؛ کومار و همکاران، ۲۰۱۶؛ نسیف[6] و همکاران، ۲۰۲۰؛ شارمین و نیما، ۲۰۱۳؛ وحیدنیا و همکاران، ۲۰۰۹)	هر چه فاصله یک مکان از راه‌های اصلی کمتر باشد، مطلوبیت بیشتر است.
C4	فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی	(زندی و پهلوانی، ۱۴۰۰؛ زندی و دلاور، ۲۰۲۱، زندی و همکاران، ۲۰۲۲)	هر چه فاصله یک مکان از مراکز بهداشتی و درمانی کمتر باشد، مطلوبیت بیشتر است.
C5	فاصله از بیمارستان‌های موجود	ادعلی و تاس، ۲۰۱۹؛ زندی و پهلوانی، ۱۴۰۰؛ کاوه و مسگری، ۱۳۹۸؛ کاوه و همکاران، ۲۰۲۰؛ بایاسی و سیسمان،	هر چه فاصله یک مکان از بیمارستان‌های موجود بیشتر باشد، مطلوبیت بیشتر است.

1. Bai
2. Liu
3. Aturinde
4. Kumar
5. Sharmin & Neema
6. Nsaif

		۲۰۲۱؛ کومار، ۲۰۱۶؛ نسیف و همکاران، ۲۰۲۰؛ شارمین و نیما، ۲۰۱۳؛ وحیدنیا و همکاران، ۲۰۰۹)	
C6	فاصله از ایستگاهای آتش‌نشانی	(کاوه و همکاران، ۲۰۲۰؛ بایاسی و سیسمان، ۲۰۲۱؛ کاوه و مسگری، ۱۳۹۸)	هر چه فاصله یک مکان از ایستگاهای آتش‌نشانی کمتر باشد، مطلوبیت بیشتر است.
C7	تراکم جمعیت	(بایاسی و سیسمان، ۲۰۲۱؛ ادعلی و تاس، ۲۰۱۹؛ کومار و همکاران، ۲۰۱۶؛ زندی و پهلوانی، ۱۴۰۰)	هر چه تراکم جمعیت یک مکان بیشتر باشد، مطلوبیت بیشتر است.
C8	توزیع مکانی ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون	براساس مطالعات نویسندگان در بررسی مقالات مختلف داخلی و بین‌المللی، این معیار در تحقیقات پیشین مکان‌یابی بیمارستان استفاده نشده است. نظر به اهمیت ذرات معلق، همبستگی آن‌ها با بیماری‌های مختلف و همچنین گسترش آلودگی هوا در شهرهای بزرگ، توزیع مکانی این ذرات به‌عنوان یکی از معیارهای تصمیم‌گیری مدنظر قرار گرفت.	هر چه توزیع مکانی ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون در یک مکان کمتر باشد، مطلوبیت بیشتر است.

۴. مبانی نظری تحقیق

در این قسمت روش‌های استفاده‌شده در تحقیق به‌صورت مختصر شرح داده می‌شود.

۴. ۱. مدل بهترین–بدترین

مدل بهترین–بدترین (رضایی، ۲۰۱۵) یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره جدید است که در سال ۲۰۱۵ ارائه شده است. در این مدل که بیشتر به‌منظور تعیین وزن معیارها استفاده شده، وزن معیارها با استفاده از دو بردار مقایسات زوجی محاسبه می‌شود. در این مدل ابتدا بهترین معیار (مهم‌ترین معیار در تصمیم‌گیری) و بدترین معیار (کم اهمیت‌ترین معیار در تصمیم‌گیری) تعیین می‌شود. سپس بهترین معیار با همه معیارها و همه معیارها با بدترین معیار مقایسه شده و مسئله تعیین وزن‌ها به یک مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی تبدیل می‌شود. مزیت این مدل، کاهش مقایسات زوجی در مقایسه با سایر روش‌ها همانند فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و فرایند تحلیل شبکه و

رسیدن به مقایسات زوجی سازگارتر است (رضایی، ۲۰۱۵، ص. ۵۰؛ سجادی و کریمی، ۲۰۱۸، ص. ۳۲۵). کاهش مقایسات زوجی توسط خبرگان، ضمن افزایش دقت، موجب افزایش سرعت در فرایند تصمیم‌گیری می‌شود (اصغری‌زاده و محمدی بالانی، ۱۳۹۶. ص. ۲۸۹). در ادامه مراحل اجرای این مدل براساس مطالعه رضایی (۲۰۱۵) به‌اختصار تشریح می‌شود.

گام ۱: بهترین (B) و بدترین (W) معیار در فرایند تصمیم‌گیری مشخص می‌شود.

گام ۲: همانند رابطهٔ (۱)، بردار برتری بهترین معیار در مقایسه با همه معیارهای تصمیم‌گیری یا بردار A_B (بهترین به دیگران[1]) با استفاده از اعدادی بین ۱ تا ۹ مطابق جدول (۲) تعیین می‌شود.

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \ldots, a_{Bm}) \quad (۱)$$

جدول ۲. اعداد متناظر با ترجیحات مقایسات زوجی

مأخذ: مونیر[2]، ۲۰۱۱، ص. ۷۸

ترجیح یکسان (هر دو معیار به یک اندازه مهم یا ارجح هستند)	۱
کمی مرجح (یک معیار نسبتاً مهمتر از دیگری است (ترجیح ضعیف))	۳
ترجیح قوی (یک معیار مهمتر از دیگری است)	۵
ترجیح خیلی قوی (یک معیار بسیار مهمتر از دیگری است)	۷
کاملاً مرجح (یک معیار بشدت مهمتر از دیگری است)	۹
ترجیحات میانی	۲ و ۴ و ۶ و ۸

در رابطه (۱)، a_{Bj} بیانگر برتری (اهمیت) بهترین معیار نسبت به معیار j–ام است. با توجه به اینکه اهمیت بهترین معیار نسبت به خودش یکسان است، a_{BB} برابر با ۱ است.

گام ۳: همانند رابطه (۲)، بردار برتری همه معیارهای تصمیم‌گیری نسبت به بدترین معیار یا بردار A_W (دیگران به بدترین[3]) با استفاده از اعدادی بین ۱ تا ۹ مطابق جدول (۲) تعیین می‌شود.

$$A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \ldots, a_{mW})^T \quad (۲)$$

در رابطه بالا، a_{jW} بیانگر برتری (اهمیت) معیار j–ام نسبت به بدترین معیار است. با توجه به اینکه اهمیت بدترین معیار نسبت به خودش یکسان است، a_{WW} برابر با ۱ است.

---

1. Best to Others
2. Munier
3. Others to Worst

گام ۴: وزن بهینه معیارهای تصمیم‌گیری ($W_1^*, W_2^*, \dots, W_m^*$)، زمانی به دست می‌آید که به ازای هر زوج $\frac{W_B}{W_j}$ و $\frac{W_j}{W_w}$، روابط $\frac{W_B}{W_j} = a_{Bj}$ و $\frac{W_j}{W_w} = a_{jw}$ برقرار باشد. به‌منظور برقراری شرایط گفته‌شده برای تمام j–ها، باید در فرایند حل مسئله، بیشینه قدر مطلق اختلاف $\left|\frac{W_B}{W_j} - a_{Bj}\right|$ و $\left|\frac{W_j}{W_w} - a_{jw}\right|$ کمینه شود؛ به‌عبارتی برای محاسبه وزن معیارها باید مسئله‌ای با شرایط زیر حل شود:

$$min \max_j \left\{ \left|\frac{W_j}{W_w} - a_{jw}\right|, \left|\frac{W_B}{W_j} - a_{Bj}\right| \right\} \tag{۳}$$

به‌طوری‌که $\sum_{j=1}^{m} w_j = 1$ و برای تمام j ها باید $w_j \geq 0$ باشد. به‌منظور برنامه‌نویسی این مسئله، روابط ذکرشده به‌صورت روابط (۸-۴) در نظر گرفته می‌شوند.

$$\min \xi \tag{۴}$$

$$\left|\frac{W_B}{W_j} - a_{Bj}\right| \leq \xi, for\ all\ j \tag{۵}$$

$$\left|\frac{W_j}{W_w} - a_{jw}\right| \leq \xi, for\ all\ j \tag{۶}$$

$$\sum_{j=1}^{m} w_j = 1 \tag{۷}$$

$$w_j \geq 0, for\ all\ j \tag{۸}$$

با حل مسئله بالا، وزن بهینه معیارها ($W_1^*, W_2^*, \dots, W_m^*$) و ξ^* در طی تکرارهای متوالی محاسبه می‌شود. پارامتر ξ^* برای محاسبه نرخ ناسازگاری[1] از طریق رابطه (۹) استفاده می‌شود. اگر نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، مقایسات سازگارند؛ در غیر این صورت فرایند مقایسات زوجی باید تجدیدنظر شود.

$$\text{نرخ ناسازگاری} = \frac{\xi^*}{\text{شاخص سازگاری}} \tag{۹}$$

شاخص سازگاری[2] براساس برتری بهترین معیار نسبت به بدترین معیار تصمیم‌گیری، همانند جدول (۳) تعیین می‌شود.

1. Consistency Ratio
2. Consistency Index

جدول ۳. شاخص سازگاری

مأخذ: رضایی، ۲۰۱۵، ص. ۵۲

a_{BW}	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
شاخص سازگاری	۰/۰۰	۰/۴۴	۱/۰۰	۱/۶۳	۲/۳۰	۳/۰۰	۳/۷۳	۴/۴۷	۵/۲۳

۴. ۲. روش واسپاس

روش واسپاس (زاواسکاس[1] و همکاران، ۲۰۱۲) در سال ۲۰۱۲ به‌عنوان یک تکنیک قوی در زمینه تصمیم‌گیری چندمعیاره ارائه شد (بید و صدیق[2]، ۲۰۱۹، ص. ۳). این روش درواقع ترکیبی از دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره شناخته‌شده مجموع وزن‌دار ساده[3] و روش حاصل ضرب وزن‌دار[4] است و در مقایسه با روش‌های مستقل از دقت بیشتری برخوردار است (زاواسکاس و همکاران، ۲۰۱۶، ص. ۷۸). مراحل این روش در ادامه براساس (زاواسکاس و همکاران، ۲۰۱۲) شرح داده می‌شود.

گام ۱: مطابق رابطه (۱۰) ماتریس تصمیم تشکیل می‌شود.

$$X_{n\times m}=\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (۱۰)$$

در رابطه (۱۰)، n تعداد گزینه‌های بررسی‌شده و m تعداد معیارهای ارزیابی است.

گام ۲: با توجه به سود یا هزینه بودن هر معیار، ماتریس تصمیم با استفاده از روابط (۱۱) و (۱۲) نرمال می‌شود.

$$r_{ij}=\frac{x_{ij}}{\max_i(x_{ij})} \quad (۱۱)$$

$$r_{ij}=\frac{\min_i(x_{ij})}{x_{ij}} \quad (۱۲)$$

رابطه (۱۱) به‌منظور نرمال‌سازی معیارهای سود و رابطه (۱۲) برای نرمال‌سازی معیارهای هزینه استفاده می‌شود.

1. Zavadskas
2. Bid & Siddique
3. Weighted Summation Model
4. Weighted Product Method

گام ۳: برای محاسبه ماتریس نرمال ضربی، مطابق رابطه (۱۳)، بردار وزن معیارها در ماتریس تصمیم نرمال‌شده ضرب می‌شود و برای محاسبه ماتریس نرمال توانی، مطابق رابطه (۱۴)، ماتریس تصمیم نرمال به توان وزن معیارها می‌رسد.

$$t^{(1)}{}_{ij} = r_{ij} \times w_j \tag{۱۳}$$

$$t^{(2)}{}_{ij} = r_{ij}{}^{w_j} \tag{۱۴}$$

گام ۴: با استفاده از روابط (۱۵) و (۱۶) مجموع سطری ماتریس نرمال وزن‌دار ضربی و حاصل ضرب سطری ماتریس نرمال وزن‌دار توانی محاسبه می‌شود.

$$U_i{}^{(1)} = \sum_{j=1}^{m} t^{(1)}{}_{ij} \tag{۱۵}$$

$$U_i{}^{(2)} = \prod_{j=1}^{m} t^{(2)}{}_{ij} \tag{۱۶}$$

گام ۵: درنهایت، امتیاز نهایی هر گزینه با استفاده از رابطه (۱۷) محاسبه می‌شود. هر چه امتیاز یک گزینه بیشتر باشد، تناسب بیشتری با هدف مدنظر دارد.

$$U_i = \frac{1}{2}(U_i{}^{(1)} + U_i{}^{(2)}) \tag{۱۷}$$

۴. ۳. روش تاپسیس

روش تاپسیس (هوانگ و یون[1]، ۱۹۸۱) یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در سال ۱۹۸۱ ارائه شد. گزینه مناسب در این روش دارای کمترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت[2] و بیشترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل منفی[3] است. مراحل این روش در ادامه براساس مطالعه اصغری‌زاده و محمدی بالانی (۱۳۹۶) شرح داده می‌شود.

گام ۱: مطابق رابطه (۱۰) ماتریس تصمیم تشکیل می‌شود.

گام ۲: ماتریس تصمیم با استفاده از رابطه (۱۸) نرمال می‌شود.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} x_{ij}{}^2}} \tag{۱۸}$$

1. Hwang & Yoon
2. Positive Ideal Solution
3. Negative Ideal Solution

گام ۳: مطابق رابطه (۱۹)، با ضرب ماتریس تصمیم نرمال‌شده در وزن معیارها، ماتریس نرمال وزن‌دار محاسبه می‌شود.

$$t_{ij} = r_{ij} \times w_j \quad (۱۹)$$

گام ۴: به‌منظور تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت (S^+)، بهترین مقادیر هر معیار و برای تعیین راه‌حل ایده‌آل منفی (S^-) بدترین مقادیر هر معیار استخراج می‌شود (رابطه‌های ۲۰ و ۲۱).

$$S^+ = \{t_1^+, t_2^+, \dots, t_m^+\} \quad (۲۰)$$

$$S^- = \{t_1^-, t_2^-, \dots, t_m^-\} \quad (۲۱)$$

گام ۵: با استفاده از روابط (۲۲) و (۲۳) فاصله اقلیدسی هر گزینه از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی محاسبه می‌شود.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} (t_{ij} - t_j^+)^2} \quad (۲۲)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} \left(t_{ij} - t_j^-\right)^2} \quad (۲۳)$$

گام ۶: درنهایت با استفاده از رابطه (۲۴)، اندازه فاصله نسبی هر گزینه از راه‌حل ایده‌آل محاسبه می‌شود. هرچه مقدار فاصله نسبی یک گزینه بیشتر باشد، تناسب آن بیشتر است.

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (۲۴)$$

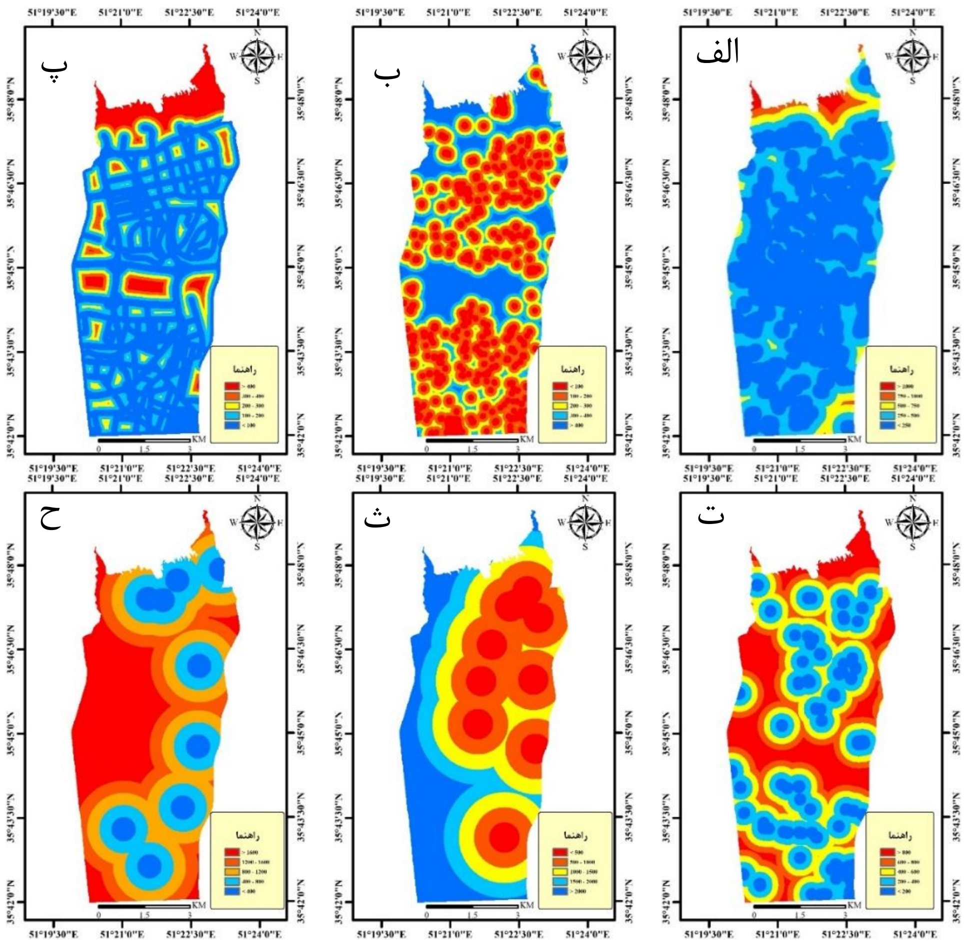
۵. یافته‌های تحقیق

۵. ۱. تهیه لایه مکانی معیارهای تصمیم‌گیری

معیارهای استفاده‌شده در تحقیق حاضر در قسمت ۳. ۲. ارائه شد. برای مدل‌سازی تناسب ارضی به‌منظور احداث بیمارستان، به تهیه لایه مکانی هر معیار نیاز است. اطلاعات مکانی استفاده‌شده برای تهیه لایه معیارها شامل نقشه رقومی کاربری اراضی منطقه ۲ شهر تهران بود که با استفاده از سایت شهرداری تهران[1] تکمیل شد، نقشه شبکه راه‌ها، اطلاعات جمعیت بلوک‌های

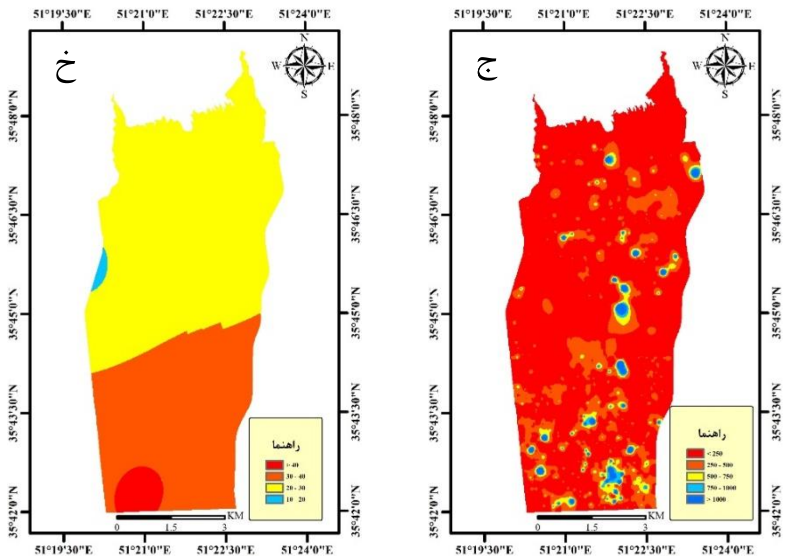
1. map.tehran.ir

منطقه ۲ و مشاهدات $PM_{2.5}$ که از سایت شرکت کنترل کیفیت هوا شهرداری تهران[1] برای بازه زمانی ۱ بهمن ۱۳۹۹ تا ۳۰ دی ۱۴۰۰، به‌مدت یک سال تهیه شد. برای تهیه لایه مکانی هر معیار از نرم‌افزار ArcGIS 10.3.1 و QGIS 3.20.1 استفاده شد. ابزارهای به‌کاررفته برای تهیه لایه مکانی معیارها شامل Euclidian Distance، Kriging Interpolation، IDW Interpolation، Extract by Mask، Reclassify و Feature to Points بود. شکل (۴) لایه‌های مکانی معیارهای تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد که برای استفاده در فرایند مدل‌سازی مکانی تناسب ارضی به‌منظور احداث بیمارستان جدید، مجدد در پنج کلاس طبقه‌بندی شدند.



1. air.tehran.ir

شکل ۴. الف) فاصله از فضاهای سبز، ب) فاصله از مراکز آموزشی، پ) فاصله از راه‌های اصلی، ت) فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی، ث) فاصله از بیمارستان‌های موجود، ح) فاصله از ایستگاه‌های آتش نشانی، واحد تمامی لایه‌ها متر است.



شکل ۴. ج) تراکم جمعیت (واحد: نفر)، خ) توزیع مکانی $PM_{2.5}$ (واحد: میکرو گرم بر متر مکعب)

مأخذ: نویسندگان، ۱۴۰۲

۵. ۲. تعیین وزن معیارها با استفاده از مدل بهترین–بدترین

پس از تعیین معیارهای تصمیم‌گیری، برای تعیین وزن آن‌ها با استفاده از مدل بهترین–بدترین، ابتدا براساس نظر ۱۵ کارشناس (با تخصص‌های سیستم اطلاعات مکانی، آمایش سرزمین و برنامه‌ریزی شهری) بهترین و بدترین معیار انتخاب شد. با جمع‌بندی نظرهای کارشناسان، معیار فاصله از بیمارستان‌های موجود به‌عنوان بهترین و معیار فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی به‌عنوان بدترین معیار در تصمیم‌گیری انتخاب شدند. در ادامه مقایسات زوجی میان بهترین معیار با همه و همه با بدترین معیار در قالب دو پرسش‌نامه مجزا توسط کارشناسان انجام شد و مقایسات نهایی از میانگین هندسی پرسش‌نامه‌ها به‌صورت جدول (۴) در نظر گرفته شد.

جدول ۴. میانگین هندسی مقایسات زوجی کارشناسان

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲

مقایسه زوجی	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
بهترین به دیگران	۲/۱۳	۲/۶۵	۲/۸۴	۹	۱	۳/۹۰	۲/۴۴	۲/۷۷
دیگران به بدترین	۲/۶۹	۲/۸۷	۳/۰۳	۱	۹	۲/۴۶	۳/۶۵	۳/۱۴

در مرحله بعد، مسئله بهینه‌سازی مطابق روابط (۸-۴) در محیط نرم‌افزار Lingo 11 برنامه-نویسی شد و نرخ ناسازگاری براساس رابطه (۹) محاسبه شد. براساس نتایج پیاده‌سازی مدل بهترین-بدترین، پارامتر ξ^* برابر با ۰/۵۱۶ بود. نرخ ناسازگاری به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر برابر با ۰/۰۹۷۵ بود و با توجه به اینکه از ۰/۱ کمتر است، قابل‌قبول بود و مقایسات سازگار بودند. وزن معیارهای به‌دست‌آمده از مدل بهترین-بدترین در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۵. وزنهای به‌دست‌آمده برای معیارها با استفاده از روش بهترین-بدترین

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲

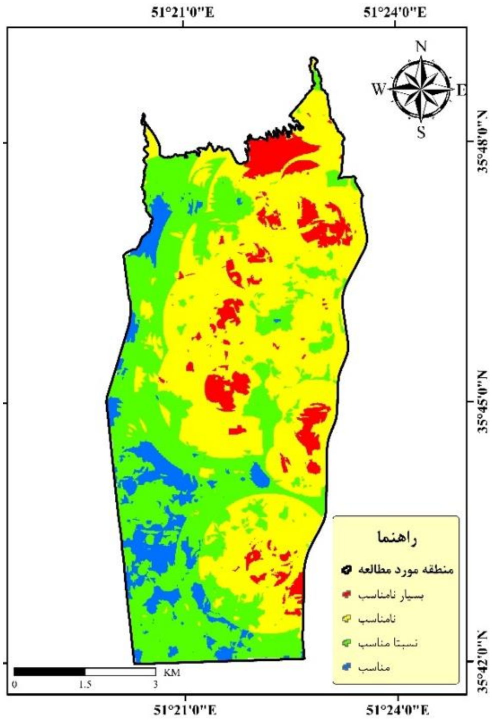
معیار	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
وزن	۰/۱۱۳	۰/۱۱۳	۰/۱۲۵	۰/۰۳۵	۰/۲۹۹	۰/۰۷۷	۰/۱۲۹	۰/۱۱۱

همان‌گونه که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، به‌ترتیب معیارهای فاصله از بیمارستان‌های موجود و تراکم جمعیت بیشترین وزن و به‌ترتیب معیارهای فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی و فاصله از ایستگاه‌های آتش نشانی کمترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. همان‌طورکه در جدول (۵) مشاهده می‌شود، معیار توزیع مکانی $PM_{2.5}$ دارای وزنی به‌مراتب بیشتر از دو معیار فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی و فاصله از ایستگاه‌های آتش نشانی بود و وزنی تقریباً برابر با وزن دو معیار فاصله از فضاهای سبز و فاصله از مراکز آموزشی داشت؛ بنابراین اهمیت در نظر گرفتن این معیار در فرایند مدل‌سازی تناسب اراضی و تعیین مکان بهینه بیمارستان مشخص شد.

۵. ۳. مدل‌سازی مکانی تحلیل تناسب اراضی برای احداث بیمارستان

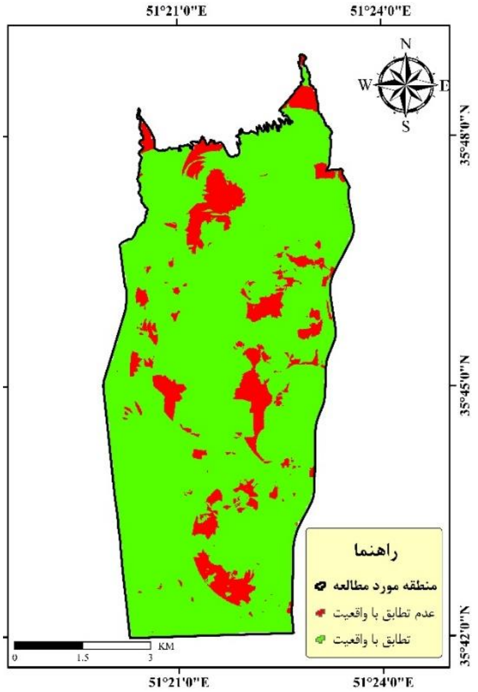
پس از محاسبه وزن معیارهای تصمیم‌گیری با استفاده از مدل بهترین-بدترین، لایه‌های مکانی معیارها که مجدد طبقه‌بندی شدند، با استفاده از روش همپوشانی شاخص[1] و به‌وسیله ابزار جبر نقشه‌ای در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.3.1 با هم تلفیق شدند و نقشه تناسب اراضی به دست آمد. همان‌گونه که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، نقشه تناسب اراضی مجدد در چهار کلاس بسیار نامناسب، نامناسب، نسبتاً مناسب و مناسب طبقه‌بندی شد. نقشه مدل‌سازی مکانی، تناسب اراضی برای احداث بیمارستان را نشان می‌دهد. قسمت غربی و به‌خصوص قسمت جنوب غربی منطقه ۲ در مقایسه با سایر قسمت‌ها، برای احداث بیمارستان از تناسب بیشتری برخوردار است. همچنین نیمه‌شرقی، به‌ویژه شمال شرق منطقه تناسب کمتری دارد که با توجه به تراکم بیمارستان‌های موجود در این مناطق، نتایج مدل‌سازی تا حدود بسیار زیادی منطبق بر واقعیت بوده است. نقشه مقایسه نتایج مدل‌سازی مکانی (شکل ۵) با شعاع دسترسی منطقه ۲ (شکل ۱)، در شکل (۶) ارائه شده است. با توجه به شکل (۶)، تناسب ۸۷/۶۴ درصد از وسعت منطقه در نتایج مدل‌سازی مکانی دقیقاً مطابق با واقعیت منطقه بود و تناسب ۱۲/۳۶ درصد از وسعت منطقه در نتایج مدل‌سازی مکانی مطابق با واقعیت منطقه نبود. میزان تطابق تقریباً ۸۸ درصد بیانگر عملکرد مناسب رویکرد ارائه شد؛ بنابراین با توجه به شکل (۵) قسمت‌های غربی و جنوب غربی به‌منظور احداث بیمارستان جدید در منطقه از تناسب زیاد، برخوردارند.

1. Index Overlay



شکل ۵. نقشه مدل‌سازی مکانی تناسب اراضی برای احداث بیمارستان

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲

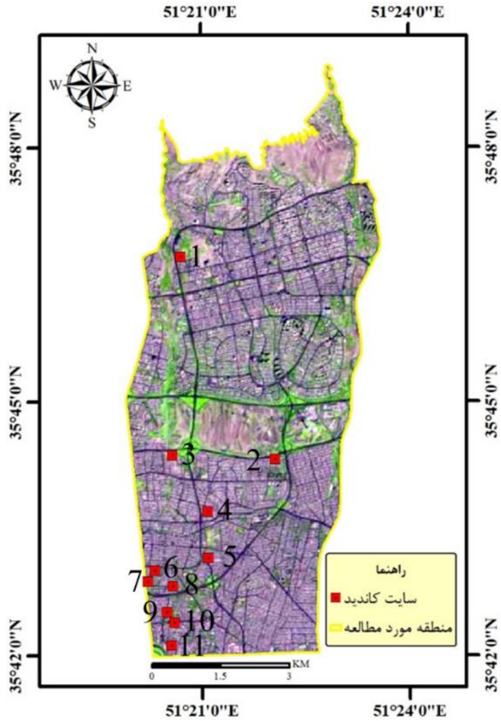


شکل ۶. نقشه مقایسه نتایج مدل‌سازی و واقعیت‌های منطقه

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲

پس از تعیین مناطق مستعد احداث بیمارستان جدید، به‌منظور تعیین یک یا چند سایت مشخص بهینه برای احداث بیمارستان جدید، ۱۱ سایت با مشخصات ارائه‌شده در جدول (۶)، در قسمت‌های مناسب و نسبتاً مناسب به‌منظور انجام فرایند رتبه‌بندی همانند شکل (۷) انتخاب شدند. سایت‌های کاندید با در نظر گرفتن سه قید دسترسی مناسب به راه‌های اصلی، مساحت بیش از ۳۵۰۰ متر مربع و بایربودن زمین مدنظر، انتخاب شدند. گفتنی است که مالکیت قسمت‌هایی از سایت‌های انتخاب‌شده حاکمیتی و مالکیت قسمت‌هایی از آن‌ها شخصی است. درنهایت برای تشکیل ماتریس تصمیم همانند رابطه (۱۰)، مقادیر تمام معیارهای تصمیم‌گیری برای تمام سایت‌های کاندید محاسبه شد. برای تعیین یک یا چند سایت بهینه از میان ۱۱ سایت کاندید انتخاب‌شده، به انجام فرایند رتبه‌بندی نیاز است؛ زیرا تمامی سایت‌های کاندید سه قید مدنظر را

داشته و همچنین در اراضی مناسب یا نسبتاً مناسب برای احداث بیمارستان قرار دارند. در تحقیق حاضر به‌منظور رتبه‌بندی سایت‌های کاندید از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شد. در ادامه فرایند پیاده‌سازی این روش‌ها و نتایج آن‌ها شرح داده می‌شود.



شکل ۷. سایت‌های کاندید انتخاب شده

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲

جدول ۶. مشخصات سایت‌های کاندید انتخاب شده

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲

سایت	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
۱	۱۱۹/۶۲	۵۲۶/۶۵	۱۳۶/۵۴	۸۹۳/۲۳	۱۸۹۵/۰۶	۱۸۳۹/۸۷	۱۷۷/۹۲	۲۴/۰۴
۲	۱۴۲/۷۵	۵۲۴/۷۷	۴/۹۰	۱۰۰۳/۴۳	۱۴۳۶/۳۶	۱۲۲۷/۴۱	۲۸۸/۰۴	۳۱/۵۹
۳	۱۴۹/۷۵	۵۴۸/۲۱	۸۱/۵۱	۸۲۶/۴۲	۲۱۴۰/۸۲	۲۱۰۹/۷۵	۳۹/۹۴	۲۹/۱۴
۴	۲۹۷/۲۷	۱۱۳/۴۴	۱۱۵/۳۶	۶۲۷/۹۸	۱۹۶۷/۹۵	۷۵۷/۸۱	۲۰/۰۲	۳۴/۰۷
۵	۱۵۰/۰۱	۲۲۹/۹۵	۱۳/۲۳	۱۷۸/۴۹	۱۶۸۷/۵۵	۲۷۵/۴۳	۲۲۹/۸۸	۳۷/۰۲
۶	۷۵/۷۵	۱۶۴/۳۶	۹۴/۴۴	۸۰۰/۳۲	۲۸۴۹/۶۲	۱۲۱۰/۳۸	۱۴۲/۶۷	۳۶/۸۸

۷	۱۷۵/۷۲	۳۲۴/۹۱	۶۱/۶۱	۶۹۵/۸۳	۲۹۹۴/۱۹	۱۴۶۱/۱۸	۶/۸۴	۳۷/۱۸
۸	۲۰۴/۴۷	۲۵۵/۳۲	۱۴۶/۷۲	۷۶۸/۹۵	۲۵۳۱/۵۸	۱۱۱۶/۹۶	۶۲۷/۲۱	۳۸/۵۳
۹	۲۱۴/۷۶	۱۱۲/۵۱	۱۸۹/۷۶	۳۵۷/۸۰	۲۸۰۲/۴۸	۱۶۶۳/۰۰	۳۷۲/۲۱	۳۹/۶۲
۱۰	۱۶۱/۳۰	۷۹/۲۰	۳۴/۲۶	۱۲۸/۳۰	۲۷۹۵/۵۸	۱۵۶۶/۲۷	۶۸/۷۹	۴۰/۶۰
۱۱	۱۳۱/۸۱	۱۲۸/۰۸	۱۰۷/۹۰	۳۱۴/۷۸	۳۱۱۲/۶۰	۱۸۲۸/۷۸	۶۱/۶۶	۴۰/۶۶

۵. ۴. تعیین مکان بهینه احداث بیمارستان به روش واسپاس

ابتدا مطابق رابطه (۱۰) ماتریس تصمیم به‌دست‌آمده مرحله قبل ساختاربندی شد. در گام بعد با توجه به سود یا هزینه بودن هر معیار (براساس ستون سوم جدول ۳)، درایه‌های ماتریس تصمیم با استفاده از یکی از دو رابطه (۱۱) یا (۱۲) نرمال شد. معیاری که افزایش مقدار آن موجب افزایش تناسب گزینه برای هدف تصمیم‌گیری (تناسب برای احداث بیمارستان) شود را معیار سود و معیاری که کاهش مقدار آن موجب افزایش تناسب گزینه برای هدف تصمیم‌گیری شود را معیار هزینه می‌گویند. در تحقیق حاضر معیارهای فاصله از بیمارستان‌های موجود، فاصله از مراکز آموزشی و تراکم جمعیت معیارهای سود و سایر معیارها هزینه هستند. در گام بعد با استفاده از بردار وزن به‌دست‌آمده از مدل بهترین-بدترین، ماتریس تصمیم نرمال ضربی (روش مجموع وزن‌دار ساده) و ماتریس تصمیم نرمال توانی (روش حاصل‌ضرب وزندار) به‌ترتیب با استفاده از روابط (۱۳) و (۱۴) محاسبه شد. در گام بعد، مجموع و حاصل‌ضرب سطری دو ماتریس به‌دست‌آمده از مرحله قبل با استفاده از روابط (۱۵) و (۱۶) به دست آمد. درنهایت با استفاده از رابطه (۱۷)، امتیاز نهایی هر سایت کاندید محاسبه شد. جدول (۷) معیارهای مجموع سطری ماتریس نرمال وزن‌دار ضربی (U_1)، حاصل‌ضرب سطری ماتریس نرمال وزن‌دار توانی (U_2)، امتیاز نهایی هر سایت (U) و رتبه آن را نشان می‌دهد.

جدول ۷. نتایج رتبه‌بندی روش واسپاس

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲

سایت کاندید	U_1	U_2	U	رتبه
سایت ۱	۰/۵۳۱	۰/۳۶۹	۰/۴۵۰	۵
سایت ۲	۰/۵۹۷	۰/۵۳۵	۰/۵۶۶	۱
سایت ۳	۰/۴۹۹	۰/۳۲۰	۰/۴۱۰	۸

سایت کاندید	U_1	U_2	U	رتبه
سایت ۴	۰/۳۶۴	۰/۲۲۷	۰/۲۹۶	۱۱
سایت ۵	۰/۵۳۴	۰/۵۱۱	۰/۵۲۳	۲
سایت ۶	۰/۵۵۲	۰/۳۸۷	۰/۴۷۰	۴
سایت ۷	۰/۵۰۷	۰/۲۷۲	۰/۳۹۰	۱۰
سایت ۸	۰/۵۵۹	۰/۳۹۸	۰/۴۷۸	۳
سایت ۹	۰/۵۰۵	۰/۳۳۹	۰/۴۲۲	۶
سایت ۱۰	۰/۴۸۴	۰/۳۴۸	۰/۴۱۶	۷
سایت ۱۱	۰/۵۰۰	۰/۳۱۷	۰/۴۰۹	۹

همان‌طورکه در جدول (۷) مشاهده می‌شود، امتیاز نهایی تمام سایت‌های کاندید به‌جز دو سایت شماره ۴ و ۷، تقریباً به هم نزدیک است. دلیل نزدیک بودن امتیاز سایت‌های کاندید به هم این است که تمامی سایت‌ها در اراضی با تناسب زیاد، انتخاب شدند و مقادیر معیارها در کل برای آن‌ها نزدیک به هم است. براساس جدول (۷)، سه سایت ۲، ۵ و ۸ به‌ترتیب با کسب رتبه‌های ۱ تا ۳، بهینه‌ترین مکان برای احداث بیمارستان هستند. همچنین سایت‌های ۴، ۷ و ۱۱ آخرین اولویت‌ها برای احداث بیمارستان هستند.

۵. ۵. تعیین مکان بهینه احداث بیمارستان به روش تاپسیس

در گام اول همانند روش قسمت قبل، ماتریس تصمیم مطابق رابطه (۱۰) تشکیل شده است. در گام بعد با استفاده از رابطه (۱۸) ماتریس تصمیم گام قبل نرمال شد. در گام بعد، مطابق رابطه (۱۹)، با ضرب ماتریس تصمیم نرمال‌شده در بردار وزن به‌دست‌آمده از مدل بهترین–بدترین، ماتریس تصمیم نرمال وزندار محاسبه شد. در گام بعد همانند جدول (۸)، مجموعه راه‌حل ایده‌آل مثبت (S^+) و منفی (S^-) مطابق روابط (۲۰) و (۲۱) به دست آمد. در گام بعد با استفاده از روابط (۲۲) و (۲۳)، به‌ترتیب فواصل اقلیدسی از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی برای هر سایت کاندید محاسبه شد. درنهایت اندازه فاصله نسبی هر گزینه از راه‌حل ایده‌آل با استفاده از رابطه (۲۴) محاسبه شد. جدول (۹) فواصل اقلیدسی از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی، اندازه فاصله نسبی از راه‌حل ایده‌آل و رتبه هر سایت را نشان می‌دهد.

جدول ۸. مجموعه راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی روش تاپسیس

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲

راه‌حل	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
مجموعه راه‌حل مثبت	۰/۰۱۵	۰/۰۵۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۱۱۵	۰/۰۰۴	۰/۰۹۵	۰/۰۲۳
مجموعه راه‌حل منفی	۰/۰۵۸	۰/۰۰۸	۰/۰۶۸	۰/۰۱۶	۰/۰۵۳	۰/۰۳۴	۰/۰۰۱	۰/۰۳۸

جدول ۹. نتایج رتبه‌بندی روش تاپسیس

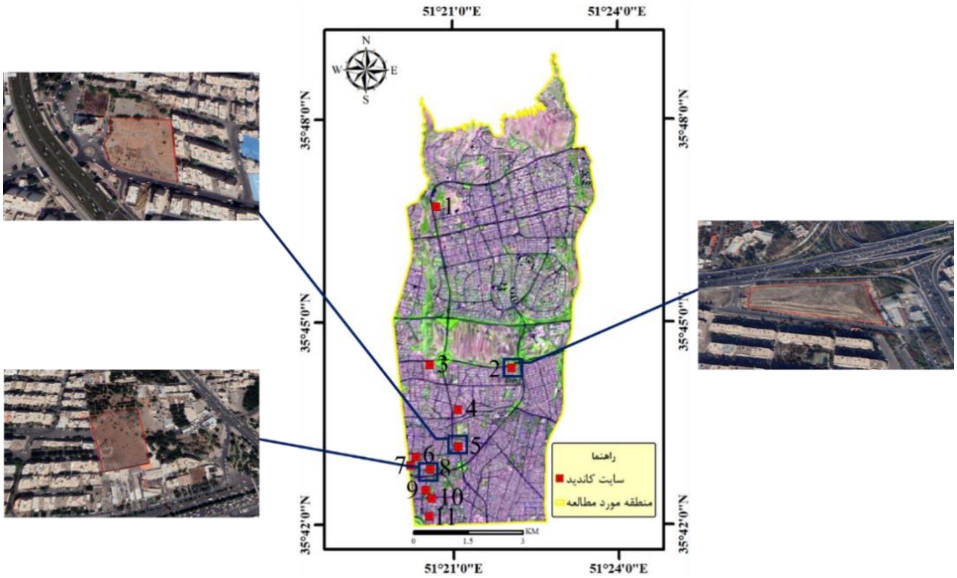
مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲

سایت	d^+	d^-	C_i	رتبه
سایت ۱	۰/۱۰۷	۰/۰۵۷	۰/۴۱۹	۸
سایت ۲	۰/۰۷۸	۰/۱۰۳	۰/۵۳۸	۲
سایت ۳	۰/۱۱۶	۰/۰۵۶	۰/۴۱۶	۱۰
سایت ۴	۰/۱۰۲	۰/۰۸۴	۰/۲۴۳	۱۱
سایت ۵	۰/۰۷۰	۰/۱۰۱	۰/۴۹۱	۳
سایت ۶	۰/۱۰۶	۰/۰۶۲	۰/۴۶۵	۴
سایت ۷	۰/۱۱۹	۰/۰۵۸	۰/۴۴۳	۵
سایت ۸	۰/۰۷۱	۰/۱۰۸	۰/۵۹۵	۱
سایت ۹	۰/۰۹۶	۰/۰۷۹	۰/۴۴۲	۶
سایت ۱۰	۰/۱۰۵	۰/۰۸۰	۰/۴۴۰	۷
سایت ۱۱	۰/۱۱۹	۰/۰۵۷	۰/۴۱۷	۹

همان‌گونه که در جدول ۹ مشاهده می‌شود، همانند روش واسپاس، در روش تاپسیس نیز امتیاز نهایی تمام سایت‌های کاندید (به جز سایت شماره ۱۱) به هم نزدیک است. همان‌گونه که گفته شد، دلیل نزدیک بودن امتیاز سایت‌های کاندید به هم این است که تمامی سایت‌ها در اراضی با تناسب زیاد، انتخاب شدند و مقادیر معیارها در کل برای آن‌ها نزدیک به هم است. براساس جدول ۹، سه سایت ۸، ۲ و ۵ به‌ترتیب با کسب رتبه‌های ۱ تا ۳، بهینه‌ترین مکان برای احداث بیمارستان هستند. همچنین سایت‌های ۴، ۳ و ۱۱ اولویت‌های آخر برای احداث بیمارستان هستند.

۵. ۶. انتخاب مکان بهینه برای احداث بیمارستان

همان‌گونه که در دو قسمت قبل مشاهده شد، نتایج دو روش رتبه‌بندی واسپاس و تاپسیس برای تعیین مکان بهینه بیمارستان تقریباً با هم مشابه بود. هر دو روش سایت‌های ۲، ۵، ۶ و ۸ را به‌عنوان چهار سایت بهینه و سایت‌های ۴ و ۱۱ را به‌عنوان اولویت‌های آخر برای احداث بیمارستان انتخاب کردند؛ بنابراین با توجه به تمایل تصمیم‌گیران به در دسترس بودن چند گزینه مناسب برای احداث بیمارستان جدید، همان‌گونه که در شکل (۸) مشاهده می‌شود، سه سایت ۲، ۵ و ۸ براساس تلفیق نتایج هر دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، به‌عنوان مکان بهینه احداث بیمارستان جدید انتخاب شدند. سه سایت انتخاب‌شده بیشترین امتیاز را در ارزیابی سایت‌های کاندید توسط دو روش واسپاس و تاپسیس کسب کردند. سایت شماره ۵ و ۸ در مقایسه با سایت شماره ۲ از بیمارستان‌های موجود فاصله بیشتری دارند و به فرایند کاهش تمرکز امکانات بیمارستانی در نیمه شرقی و شمال شرقی منطقه ۲ کمک بیشتری می‌کند. مساحت هر سه سایت انتخاب‌شده همانند بقیه سایت‌های کاندید بیش از ۳۵۰۰ متر مربع است و از نظر میزان مساحت هیچ‌کدام بر دیگری اولویت ندارد. سایت شماره ۲ که به‌عنوان اولین اولویت انتخاب شده است، از نظر دسترسی به راها در مقایسه با دو سایت دیگر، از اولویت بالاتری برخوردار است؛ زیرا در احاطه چند بزرگراه و راه اصلی قرار گرفته است؛ البته لازم است یادآوری شود که تمامی معیارهای مکان‌یابی بیمارستان برای تمام ۱۱ سایت به‌وسیله دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره واسپاس و تاپسیس ارزیابی شده است و امتیاز هر سایت برآیند ارزیابی آن سایت براساس تمام معیارها است.



شکل ۸. سایت‌های بهینه انتخاب‌شده برای احداث بیمارستان

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تحقیق حاضر با هدف مدل‌سازی مکانی تناسب اراضی و تعیین مکان بهینه احداث بیمارستانی جدید در منطقه ۲ کلان‌شهر تهران انجام شد. در این تحقیق به‌منظور افزایش دقت و بهبود فرایند تصمیم‌گیری، یک روش ترکیبی مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی، مدل وزن‌دهی بهترین–بدترین و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره واسپاس و تاپسیس ارائه شد. در تحقیق حاضر علاوه‌بر معیارهای پراستفاده در تحقیقات پیشین، توزیع مکانی ذرات $PM_{2.5}$ نیز به دلیل ارتباط با بروز و تشدید بیماری‌های مختلف، به‌عنوان یک معیار تصمیم‌گیری انتخاب شد. برای تعیین وزن معیارهای تصمیم‌گیری از مدل وزن‌دهی بهترین–بدترین استفاده شد. این روش علاوه‌بر کاهش چشمگیر مقایسات زوجی در مقایسه با سایر روش‌های وزن‌دهی مبتنی بر نظرهای خبرگان، موجب افزایش دقت تصمیم‌گیری نیز می‌شود. در ادامه لایه‌های مکانی معیارهای تصمیم‌گیری با استفاده از بردار وزن به‌دست‌آمده از مدل بهترین–بدترین، به روش همپوشانی شاخص با هم تلفیق شدند و نقشه تناسب اراضی جهت احداث بیمارستان تهیه شد. برای انتخاب یک یا چند مکان برای احداث بیمارستان، ۱۱ سایت کاندید در قسمت‌های با تناسب بالا، به‌وسیله دو روش

تصمیم‌گیری واسپاس و تاپسیس رتبه‌بندی شدند. روش واسپاس یک روش تصمیم‌گیری جدید است که با ترکیب معیارهای ارزیابی دو روش مجموع وزندار ساده و روش حاصل ضرب وزندار ارائه شده است. این ترکیب معیارهای ارزیابی موجب افزایش دقت این روش در مقایسه با دو روش پایه می‌شود. براساس نتایج مدل بهترین–بدترین (جدول ۵)، معیارهای فاصله از بیمارستان‌های موجود بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است که با نتایج تحقیقات زندی و پهلوانی (۱۴۰۰)، زندی و دلاور (۲۰۲۱)، زندی و همکاران (۲۰۲۲) و وحیدنیا و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت دارد؛ این در حالی است که نتایج وزن‌دهی در تحقیق بایاسی و سیسمان (۲۰۲۱) بیانگر وزن بیشتر فاصله از شبکه حمل‌ونقل است. معیار توزیع مکانی PM2.5، وزنی به مراتب بیشتر از دو معیار فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی و فاصله از ایستگاه‌های آتش نشانی داشته و وزنی تقریباً برابر با وزن دو معیار فاصله از فضاهای سبز و فاصله از مراکز آموزشی داشته است؛ بنابراین اهمیت در نظر گرفتن این معیار در فرایند مدل‌سازی تناسب اراضی و تعیین مکان بهینه بیمارستان مشخص شده است. نقشه مدل‌سازی مکانی تناسب اراضی (شکل ۵) نشان می‌دهد که قسمت غربی و به‌خصوص قسمت جنوب غربی منطقه ۲ در مقایسه با سایر قسمت‌ها، برای احداث بیمارستان از تناسب بیشتری برخوردارند. این نتایج به مقدار زیادی با نتایج مطالعات کاوه و مسگری (۱۳۹۸) و کاوه و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد. نتایج مدل‌سازی مکانی به میزان ۸۸ درصد با واقعیت‌های منطقه موردمطالعه تطابق داشت. نتایج دو روش رتبه‌بندی واسپاس و تاپسیس به‌منظور تعیین مکان بهینه بیمارستان تقریباً با هم مشابه بود که با نتایج مطالعات بید و صدیق (۲۰۱۹) و میک و آنت‌من[1] (۲۰۲۱) مطابقت دارد.

یکی از الزامات آمایش سرزمین جلوگیری از تمرکز امکانات در یک پهنه و ایجاد پراکندگی فضایی مطلوب امکانات است (حسینی و صدیقی، ۱۳۹۳، ص. ۳۴۷). تمرکز امکانات در یک پهنه، هنگام وقوع بحران و افزایش نیاز شهروندان به خدمات باعث ایجا ترافیک، ازدحام جمعیت و هرج و مرج می‌شود (حسینی و صدیقی، ۱۳۹۳، ص. ۳۴۷). گفتنی است در صورت نبود تناسب میان جمعیت و امکانات، مسئله خسارات ناشی از نبود پاسخ‌گویی به‌موقع نیز بر این مشکلات افزوده می‌شود. نتایج تحقیق حاضر نه‌تنها به تمرکززایی در منطقه ۲ منجر نشده، بلکه

---

1. Miç & Antmen

باعث تمرکززدایی نیز شده است؛ البته همان‌طورکه در بخش مقدمه گفته شد، امکانات فعلی بیمارستانی منطقه ۲ با جمعیت آن تناسب ندارد و احداث بیمارستان جدید تاحدودی این نبود تناسب را جبران می‌کند.

پرکاربردترین روش‌های وزن‌دهی در مسائل مختلف معمولاً روش‌های مبتنی بر نظرهای خبرگان یا روش‌های وزن‌دهی موضوعی هستند. از بهترین و پرکاربردترین این روش‌ها می‌توان به دو روش وزن‌دهی موضوعی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و شبکه اشاره کرد. چالش اساسی در این دو روش این است که با افزایش تعداد گزینه‌ها یا وابستگی آن‌ها به هم، مقایسات زوجی به‌شدت افزایش می‌یابد؛ درحالی‌که در مدل وزن‌دهی بهترین-بدترین تعداد مقایسات زوجی به‌مراتب کمتر است. گفتنی است که روش‌های وزن‌دهی عینی که وزن معیارها را با استفاده از جدول اطلاعات محاسبه می‌کنند، می‌توانند در زمانی بسیار کمتر از مدل بهترین-بدترین انجام پذیرند، ولی در این روش‌ها وزن‌های محاسبه‌شده اغلب با نظرهای خبرگان مطابقت ندارند.

نرخ ناسازگاری وزن‌دهی معیارها با مدل بهترین-بدترین برابر با ۰/۰۹۷۵ بود که نشان‌دهنده قابلیت اطمینان زیاد وزن‌های به‌دست‌آمده است. روش وزن‌دهی بهترین-بدترین صرفاً با یک بار تکمیل پرسش‌نامه به نرخ ناسازگاری مطلوب رسید؛ درحالی‌که در روش متداول فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، امکان رسیدن به این مقدار نرخ ناسازگاری با یک بار تکمیل پرسش‌نامه دور از واقعیت یا حداقل دشوار است؛ به‌عبارتی در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به دلیل تعدد ماتریس‌های مقایسات زوجی میان معیارهای مختلف، امکان بروز ناسازگاری و درنتیجه افزایش نرخ ناسازگاری امری طبیعی است. به‌منظور غلبه بر این مشکل معمولاً پرسش‌نامه‌ها (ماتریس‌های مقایسات زوجی) چندین مرتبه بازبینی می‌شوند که این خود موجب افزایش زمان و هزینه و کاهش دقت تصمیم‌گیری می‌شود. روش وزن‌دهی استفاده‌شده در تحقیق حاضر تنها با استفاده از دو ماتریس مقایسات زوجی، موجب بهبود دقت و کاهش معنادار زمان تصمیم‌گیری شده است. علاوه‌بر روش وزن‌دهی، در تحقیق حاضر ترکیب مدل‌سازی مکانی تناسب اراضی و رتبه‌بندی نیز به کاهش زمان فرایند تصمیم‌گیری و بهبود دقت آن منجر شده است؛ چراکه با انجام مدل‌سازی مکانی تناسب اراضی، فضای جست‌وجو برای انتخاب سایت‌های کاندید به‌شدت کاهش یافته است؛ به‌عبارتی به جای در نظر گرفتن سایت‌هایی از تمام سطح منطقه ۲

تهران، سایت‌ها تنها در قسمت‌های محدودی که از تناسب زیادی برخوردار بودند، انتخاب شدند. این مسئله هم حجم محاسبات و زمان تصمیم‌گیری را کاهش داد و هم از ورود سایت‌های نامناسب و تأثیر آن‌ها بر فرایند تصمیم‌گیری جلوگیری کرد و موجب بهبود دقت تصمیم‌گیری شد. روش تصمیم‌گیری تاپسیس یکی از پرکاربردترین و دقیق‌ترین روش‌های رتبه‌بندی است که در کاربردهای مختلف استفاده شده است (آپروکویک و تنگ[1]، ۲۰۰۴، ص. ۴۴۸). مقایسه روش‌های جدید با این روش می‌تواند به‌عنوان یک معیار ارزیابی از عملکرد آن‌ها باشد. در تحقیق حاضر از روش جدید واسپاس برای رتبه‌بندی سایت‌های کاندید بیمارستان در مقایسه با روش تاپسیس استفاده شد. نتایج هر دو روش مشابه بوده که نشان‌دهنده عملکرد مطلوب روش واسپاس در مکان‌یابی بیمارستان است. در تحقیق حاضر در راستای رصد و پایش معیارهای مؤثر در مکان‌یابی بیمارستان و افزایش تشخیص دقیق‌تر مکان‌های مستعد احداث بیمارستان، معیار توزیع مکانی ذرات $PM_{2.5}$ به‌عنوان یک معیار تصمیم‌گیری به کار رفت. این ذرات موجب بروز و تشدید بیماری‌های تنفسی، قلبی و عروقی و... می‌شوند؛ بنابراین مطلوب است که مکان بیمارستان در محلی واقع شود که تا حد امکان غلظت این ذرات کمترین مقدار ممکن باشد.

در برخی از تحقیقات پیشین (لین و تسای[2]، ۲۰۱۰؛ وحیدنیا و همکاران، ۲۰۰۹؛ سنوار[3] و همکاران، ۲۰۱۶) معیار مهم قیمت زمین نیز مدنظر قرار گرفته است که در تحقیق حاضر به دلیل نبود دسترسی به اطلاعات ارزش املاک، این معیار در نظر گرفته نشد؛ ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی این معیار مدنظر قرار گیرد. در تحقیق حاضر، به دلیل اهمیت ذرات $PM_{2.5}$، تنها این ذرات به‌عنوان نماینده آلودگی هوا در نظر گرفته شد؛ ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی سایر پارامترهای آلودگی هوا نیز مدنظر قرار گیرند. برای بررسی دقیق‌تر و درنتیجه افزایش دقت تصمیم‌گیری توصیه می‌شود در تحقیقات آینده معیارهای پراکندگی مکانی بیماران و بیماری‌ها و همچنین تقاضای دریافت خدمات بهداشتی و درمانی شهروندان سایر مناطق شهر تهران و شهرهای دیگر مدنظر قرار گیرد. همچنین مقایسه عملکرد مدل وزن‌دهی بهترین–بدترین

1. Opricovic & Tzeng
2. Lin & Tsai
3. Senvar

با روش وزن‌دهی سوارا[1] در زمینه تعیین مکان بهینه بیمارستان به‌عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آتی توصیه می‌شود.

کتابنامه

۱. اصغری‌زاده، ع.، و محمدی بالانی، ع. (۱۳۹۶). *تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه*. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

۲. سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران (۱۳۹۸). *آمارنامه شهرداری تهران ۱۳۹۷ (سالنامه آماری شهرداری تهران)*. تهران: انتشارات شهرداری تهران.

۳. حسینی، س. ه.، و صدیقی، ا. (۱۳۹۳). تحلیلی بر آمایش فضایی–مکانی فضاهای درمانی مشهد با رویکرد پدافند غیرعامل. *مجله علمی آمایش سرزمین*، (۱۲)، ۳۶۱–۳۳۵.

۴. درگاهی، ح. (۱۳۹۰). *استانداردهای بیمارستان*. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

۵. زندی، ا.، پهلوانی، پ.، و بیگدلی، ب. (۱۳۹۹). تلفیق روش وزن‌دهی عینی کریتیک با روش کوداس و ویکور به‌منظور انتخاب مکان‌های مستعد احداث بیمارستان (مطالعه موردی: منطقه ۵ تهران). *جغرافیا و توسعه فضای شهری*، (۱۴)، ۶۳–۴۱.

۶. زندی، ا.، و پهلوانی، پ. (۱۴۰۰). مدل‌سازی مکانی و اولویت‌بندی مناطق مستعد جهت احداث بیمارستان با استفاده از تحلیل–های تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ۵ تهران). *مجله علمی آمایش سرزمین*، (۲۵)، ۲۸۰–۲۴۷.

۷. زندی، ا.، پهلوانی، پ.، و بیگدلی، ب. (۱۴۰۱). رتبه بندی بهینهٔ سایت‌های کاندید بیمارستان با استفاده از تلفیق روش‌های وزن‌دهی عینی و تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی. *مجله علمی آمایش سرزمین*، (۲۷)، ۳۶۹–۳۴۷.

۸. کاوه، م.، و مسگری، م. س. (۱۳۹۸). مکان‌یابی مراکز بیمارستان با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات ترکیبی مطالعه موردی: منطقه دو تهران. *فصلنامه علمی–پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، (۱۱۱)، ۲۲–۷.

۹. مصدق‌راد، ع. م.، دهنوی، ح.، و دررودی، ع. (۱۴۰۰). عدالت در توزیع تختهای بیمارستانی شهر تهران: گزارش کوتاه. *مجله دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تهران*، (۷۹)، ۱۶۲–۱۵۶.

1 . Stepwise Weight Assessment Ration Analysis

10. Adalı, E. A., & Tuş, A. (2021). Hospital site selection with distance-based multi-criteria decision-making methods. *International Journal of Healthcare Management*, 14(2), 534-544.
11. Adam, S. P., Alexandropoulos, S. A. N., Pardalos, P. M., & Vrahatis, M. N. (2019). No free lunch theorem: A review. Approximation and Optimization: Algorithms, Complexity and Applications, 57-82.
12. Almansi, K. Y., Shariff, A. R. M., Abdullah, A. F., & Syed Ismail, S. N. (2021). Hospital site suitability assessment using three machine learning approaches: evidence from the Gaza strip in Palestine. Applied Sciences, 11(22), 11054.
13. Aturinde, A., Farnaghi, M., Pilesjö, P., Sundquist, K., & Mansourian, A. (2021). Spatial analysis of ambient air pollution and cardiovascular disease (CVD) hospitalization across Sweden. GeoHealth, 5(5), e2020GH000323.
14. Bai, L. I., Shin, S., Burnett, R. T., Kwong, J. C., Hystad, P., van Donkelaar, A., & Chen, H. (2019). Exposure to ambient air pollution and the incidence of congestive heart failure and acute myocardial infarction: A population-based study of 5.1 million Canadian adults living in Ontario. Environment international, 132, 105004, 1-11.
15. Bid, S., & Siddique, G. (2019). Human risk assessment of Panchet dam in India using TOPSIS and WASPAS multi-criteria decision-making (MCDM) methods. Heliyon, 5(6), e01956.
16. Boyacı, A. Ç., & Şişman, A. (2022). Pandemic hospital site selection: a GIS-based MCDM approach employing Pythagorean fuzzy sets. Environmental Science and Pollution Research, 29(2), 1985-1997.
17. Chatterjee, D., & Mukherjee, B. (2013). Potential hospital location selection using fuzzy-AHP: an empirical study in Rural India. International Journal of Innovative Technology and Research, 1(4), 304-314.
18. Cox Jr, L. A. T. (2017). Socioeconomic and air pollution correlates of adult asthma, heart attack, and stroke risks in the United States, 2010–2013. Environmental Research, 155, 92-107.
19. Dell'Ovo, M., Capolongo, S., & Oppio, A. (2018). Combining spatial analysis with MCDA for the siting of healthcare facilities. Land Use Policy, 76, 634-644.
20. Hashemkhani Zolfani, S., Yazdani, M., Ebadi Torkayesh, A., & Derakhti, A. (2020). Application of a gray-based decision support framework for location selection of a temporary hospital during COVID-19 pandemic. Symmetry, 12(6), 886, 1-15.
21. Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Multiple attribute decision making: a state of the art survey. Lecture notes in economics and mathematical systems, 186(1).
22. Kaveh, M., Kaveh, M., Mesgari, M. S., & Paland, R. S. (2020). Multiple criteria decision-making for hospital location-allocation based on improved genetic algorithm. Applied Geomatics, 12(3), 291-306.
23. Kumar, P., Singh, R. K., & Sinha, P. (2016). Optimal site selection for a hospital using a fuzzy extended ELECTRE approach. Journal of Management Analytics, 3(2), 115-135.

24. Lin, C.-T., Wu, C.-R., & Chen, H.-C. (2006). Selecting the Location of Hospitals in Taiwan to Ensure a Competitive Advantage via GRA. Journal of Grey System, 18 (3).
25. Lin, C.-T., & Tsai, M.-C. (2010). Location choice for direct foreign investment in new hospitals in China by using ANP and TOPSIS. Quality and Quantity, 44(2), 375–390.
26. Liu, L., Zhang, Y., Yang, Z., Luo, S., & Zhang, Y. (2021). Long-term exposure to fine particulate constituents and cardiovascular diseases in Chinese adults. Journal of Hazardous Materials, 416, 126051.
27. Miç, P., & Antmen, Z. F. (2021). A decision-making model based on TOPSIS, WASPAS, and MULTIMOORA methods for university location selection problem. SAGE Open, 11(3), 21582440211040115.
28. Moradian, M. J., Ardalan, A., Nejati, A., Boloorani, A. D., Akbarisari, A., & Rastegarfar, B. (2017). Risk criteria in hospital site selection: a systematic review. PLoS currents, 9.
29. Munier, N. (2011). A strategy for using multicriteria analysis in decision-making: a guide for simple and complex environmental projects. Springer Science & Business Media.
30. Nsaif, Q. A., Khaleel, S. M., & Khateeb, A. H. (2020). Integration of GIS and remote sensing technique for hospital site selection in Baquba district. Journal of Engineering Science and Technology, 15(3), 1492-1505.
31. Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. European journal of operational research, 156(2), 445-455.
32. Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. Omega, 53, 49–57.
33. Rezayee, M. (2020). Hospital site selection in Iskandar Malaysia using GIS-multi criteria analysis. International Journal of Basic Sciences and Applied Computing, 2(10), 8-15.
34. Sadeghi, M., Ahmadi, A., Baradaran, A., Masoudipoor, N., & Frouzandeh, S. (2015). Modeling of the relationship between the environmental air pollution, clinical risk factors, and hospital mortality due to myocardial infarction in Isfahan, Iran. Journal of research in medical sciences: the official journal of Isfahan University of Medical Sciences, 20(8), 757-762.
35. Sadjadi, S., & Karimi, M. (2018). Best-worst multi-criteria decision-making method: A robust approach. Decision Science Letters, 7(4), 323-340.
36. Şahin, T., Ocak, S., & Top, M. (2019). Analytic hierarchy process for hospital site selection. Health Policy and Technology, 8(1), 42-50.
37. Senvar, O., Otay, I., & Bolturk, E. (2016). Hospital site selection via hesitant fuzzy TOPSIS. IFAC-PapersOnLine, 49(12), 1140-1145.
38. Sharmin, N., & Neema, M. (2013). A GIS-based multi-criteria analysis to site appropriate locations of hospitals in Dhaka City. Hospital, 8, 0-37.

39. Soltani, A., Inaloo, R. B., Rezaei, M., Shaer, F., & Riyabi, M. A. (2019). Spatial analysis and urban land use planning emphasising hospital site selection: a case study of Isfahan city. Bulletin of Geography. Socio-economic Series, 43, 71-89.
40. Taleai, M., Sharifi, A., Sliuzas, R., & Mesgari, M. (2007). Evaluating the compatibility of multi-functional and intensive urban land uses. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 9(4), 375-391.
41. Vahidnia, M. H., Alesheikh, A. A., & Alimohammadi, A. (2009). Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives. Journal of environmental management, 90(10), 3048-3056.
42. Yap, J. Y. L., Ho, C. C., & Ting, C. Y. (2019). A systematic review of the applications of multi-criteria decision-making methods in site selection problems. Built environment project and asset management, 9(4), 548-563.
43. Zandi, I., & Delevar, M. R. (2021). Integration of GIS, Shannon Entropy and Multi-Criteria Decision Making for Hospital Site Selection. Presented at the 29th Annual GIS Research UK Conference (GISRUK), Cardiff, Wales, UK (Online).
44. Zandi, I., Pahlavani, P., & Bigdeli, B. (2022). Different Multi-Criteria Strategies in Hospital Location Ranking using Dempster–Shafer Decision-Level Fusion and Quantifier-guided OWA, A Case Study. Earth Observation and Geomatics Engineering, 6, 10-27.
45. Zavadskas, E. K., Kalibatas, D., & Kalibatiene, D. (2016). A multi-attribute assessment using WASPAS for choosing an optimal indoor environment. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 16(1), 76-85.
46. Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J., & Zakarevicius, A. (2012). Optimization of weighted aggregated sum product assessment. Elektronika Ir Elektrotechnika, 122(6), 3–6.